



**Constrangimentos petrológicos e geocronológicos no
magmatismo da região de Viana do Alentejo: contributo para a
compreensão da evolução geodinâmica da Zona de Ossa-
Morena**

Pedro Filipe Farinha Cachapuz

Mestrado em Geologia
Especialização Geoquímica, Mineralogia e Petrologia

Dissertação orientada por:

Prof. Doutor Martim Chichorro
Prof. Doutor Telmo M. Bento dos Santos

Nota prévia:

O presente estudo foca-se sobretudo na natureza petrográfica, geoquímica e geocronológica das rochas ígneas e metasedimentares aflorantes na região de Viana do Alentejo-Oriola-Portel, por forma a contribuir para uma melhor perceção da crono-litoestratigrafia e, consequentemente, dos padrões cartográficos e da sua relação com as principais estruturas de deformação. Por esta razão, e tal como foi inicialmente proposto, enquadra-se no projeto de publicação das Cartas geológicas de Portugal (LNEG), nomeadamente na execução da Folha 6 à escala 1:200000 no âmbito da investigação geológica e da base de recursos geológicos. O autor da presente tese e os seus orientadores agradecem ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia, todo o seu apoio e estímulo para que desta forma se gerasse um projeto de mestrado com benefício para todos os intervenientes e sobretudo para a geração do conhecimento do nosso território.

Agradecimentos

No decorrer destes dois anos de tese foram várias as pessoas que me ajudaram e que, de uma maneira ou de outra, contribuíram para o resultado final aqui apresentado. Como tal é meu dever prestar aqui os meus agradecimentos:

Aos meus Orientadores, Prof. Dr. Telmo Santos e Prof. Dr. Martim Chichorro, tenho de agradecer por me terem aceite como seu orientando e por me terem guiado ao longo da realização da tese, esclarecendo todas dúvidas existenciais e questões pertinentes, acima de tudo um obrigado por me mostrarem como fazer ciência;

Ao Doutor Mathieu Benoit, da Universidade de Toulouse, pela oportunidade de ir a Toulouse realizar as análises isotópicas, adquirindo conhecimento não só sobre as metodologias envolvidas nestas análises, mas também sobre o funcionamento de um laboratório internacional;

Ao Diogo e aos moços de licenciatura (Nuno e Tiago) pela enorme ajuda no processamento das amostras;

À Rita Solá e novamente ao Diogo pelo fornecimento de muita da bibliografia;

Ao Dr. Pedro Rodrigues pela ajuda na obtenção de dados de química mineral;

Ao Gonçalo, companheiro ribatejano, por todos os esclarecimentos em alturas de aflição;

À Rita (a.k.a. espantaraposas), vizinha de secretaria no LNEG e na sala de geoquímica, por me chatear diariamente e o gozo constante, mas também por todos os conselhos que me deu, sempre me aconselhando a ser o mais exigente possível com o meu trabalho. Espero ter sido igualmente chato;

Aos meus pais, Cristina e Adriano, por me terem dado todo o apoio e também pelo esforço contínuo para me dar todas as oportunidades e mais algumas....e por me acolherem durante a pandemia (após 6 anos na faculdade) para não ter de me preocupar com o jantar e roupa lavada. Um obrigado também ao meu irmão João por manter os meus pais ocupados na minha ausência.

Resumo

A região de Viana do Alentejo localiza-se no SW da Zona de Ossa Morena, mais especificamente do sector de Montemor-Ficalho. Nesta região afloram rochas metassedimentares Pré-Câmbricas (Série Negra de Águas de Peixe), gnaisses quartzo-feldspáticos, mármore e micaxistos com frequentes intercalações de rochas vulcânicas ácidas e básicas (Xistos de Moura). À formação dos Xistos de Moura é atribuída, com base em dados paleontológicos, uma idade Ordovícica Superior a Devónica Inferior. Contudo, estudos recentes em domínios adjacentes (Araújo *et al.*, 2005; Chichorro, 2006) sugerem que alguns dos metassedimentos e rochas vulcânicas de Viana do Alentejo podem ser incluídos nas sucessões do Paleozoico inferior do Complexo Vulcano-Sedimentar de Ficalho-Moura.

Com esta tese pretende-se obter uma melhor compreensão da génese das rochas vulcânicas ácidas (riólitos) e básicas (anfíbolitos e xistos verdes) que se encontram intercaladas nos Xistos de Moura, bem como do seu enquadramento geodinâmico dentro do Ciclo Varisco na ZOM. Para tal procedeu-se à sua caracterização em termos petrológicos e geoquímicos com auxílio de química mineral, petrografia e análise geoquímica e isotópica Rb – Sr e Sm – Nd.

Com base nos resultados obtidos foi possível discernir 3 grupos de rochas félsicas (grupo I, II e III). Os riólitos dos grupos I e II evidenciam uma grande afinidade para com rochas do evento magmático de *early rift*, do Câmbrio inferior. Os riólitos do grupo I denotam uma maior contribuição supra-crustal (empobrecimento em HREE e valores de ϵNd_i fortemente negativos), à medida que os riólitos do grupo II evidenciam uma maior influência infra-crustal/mantélica (enriquecimento em HREE e valores de ϵNd_i quase neutros). Os riólitos do grupo I, ao contrário dos riólitos do grupo II, apresentam uma assinatura orogénica, provavelmente resultante da fusão do protólito cadomiano, apresentando também idades modelo mais antigas. Assim sendo, concluiu-se que os riólitos do grupo I foram gerados numa fase mais prematura da fase de rift, enquanto os do grupo II geraram-se numa fase mais tardia. Por sua vez, as amostras do grupo III denotam um enriquecimento em REE superior às restantes amostras félsicas, apresentando grande afinidade com amostras do *main rift event*.

No que respeita às rochas básicas, estas apresentam uma assinatura oceânica, tendo-se identificado duas fontes, uma mais enriquecida (manto astenosférico) e outra mais empobrecida, enquanto as restantes amostras provêm de uma fonte menos profunda e denotam uma grande variabilidade das razões $(\text{La/Lu})_N$. Esta variabilidade é o resultado de alguma heterogeneidade na fonte, bem como da atuação de processos de cristalização fracionada. Estes metabasaltos apresentam grande afinidade com outras rochas máficas associadas ao episódio de *main rift*, não apresentando, contrariamente a muitas dessas, evidências de contaminação crustal (com a exceção de uma amostra). Esta ausência de influência crustal conjugada com a afinidade geoquímica que estas amostras apresentam com metabasitos de afinidade autóctone e com os metabasaltos oceânicos de Pedro *et al.* (2010) sugere que as amostras básicas de Viana do Alentejo terão sido geradas em ambiente de Rift-to-Drift a Drift.

Posteriormente, as amostras vulcânicas de Viana do Alentejo foram fortemente afetadas pelo metamorfismo HT-L/MP, que afetou o SW da Zona de Ossa Morena durante o Carbonífero. Estas condições de alta temperatura associadas à relativa proximidade de unidades carbonatadas provocaram a circulação de fluidos carbónicos, tendo este influxo de CO_2 provocado o *breakdown* parcial de anfíbola em piroxena e granada. Por sua vez, a presença de andaluzite e cordierite numa das amostras metassedimentares denota algum de metamorfismo de contacto, associado à instalação de intrusões graníticas variscas.

Palavras-Chave: Xistos de Moura; Zona de Ossa Morena; Geoquímica; rochas vulcânicas; Viana do Alentejo

Abstract

The Viana do Alentejo region is located in the SW of the Ossa Morena Zone, more specifically in the Montemor-Ficalho sector. In these region there are outcrops of pre-Cambrian metasedimentary rocks (Série Negra de Águas de Peixe), quartz-feldspar gneisses, marbles and mica schists with frequent intercalations of acidic and basic volcanic rocks (Xistos de Moura). An Ordovician-Silurian age is typically attributed to the Xistos de Moura formation, based on paleontological data. However, recent studies in adjacent domains (Araújo et al., 2005; Chichorro, 2006) suggest that some of the metasediments and volcanic rocks of Viana do Alentejo may be included in the lower Paleozoic successions of the Ficalho-Moura Vulcano-Sedimentary Complex.

The aim of this thesis is to gain a better understanding of the genesis of acid and basic volcanic rocks that are interspersed in the Xistos de Moura, as well as their geodynamic framework within the Variscan Cycle in the Ossa Morena Zone. For this purpose, a petrological and geochemical characterization of these volcanic samples was carried out, with the aid of mineral chemistry, petrography and geochemical and isotopic Rb - Sr and Sm-Nd analysis.

Based on the results obtained, it was possible to Distinguish 3 groups of felsic rocks (group I, II and III). The rhyolites from groups I and II show great affinity with lower Cambrian early rift rocks. Group I rhyolites show a greater supra-crustal contribution (depletion in HREE and strongly negative ϵ_{Nd} values), whereas group II rhyolites show a greater infra-crustal / mantle influence (HREE enrichment and ϵ_{Nd} values almost neutral). Group I's rhyolite, unlike group II rhyolite, have an orogenic signature, probably resulting from the melting of a Cadomian protolith, also presenting older model ages. Thus, group I rhyolites were formed in a more premature phase of the rift stage, while the group II rhyolites were generated in a later phase. In turn, the sample from group III shows greater enrichment in REE compared to the other felsic rocks and an affinity with samples from the main rift event.

Basic rocks show an oceanic signature, with one of the samples showing an asthenospheric source, while the remaining come from a less deep portion of the mantle, showing a great variability of the $(\text{La/Lu})_{\text{N}}$ ratios. This variability is the result of some heterogeneity at the source, as well as some fractional crystallization. These metabasalts have great affinity with other mafic rocks from the main rift episode, showing no evidence, contrary to many of those, of crustal contamination (except for one sample). This lack of crustal influence coupled with the geochemical affinity that these rocks have with metabasites of autochthonous affinity and with the oceanic metabasalts of Pedro et al. (2010) suggest that the basic samples from Viana do Alentejo were generated in a Rift-to-Drift to Drift environment.

Subsequently, the volcanic rocks from Viana do Alentejo were strongly affected by the HT-L / MP metamorphism, which affected the SW of Ossa Morena Zone, during the Carboniferous. These high-temperature conditions associated with the relative proximity of carbonated units caused the circulation of carbonic fluids, with this influx of CO_2 causing the partial breakdown of amphibole into pyroxene and garnet. The presence of andalusite and cordierite in one of the meta-sedimentary samples points to some contact metamorphism, associated with the installation of variscan granitic intrusions.

Keywords: Xistos de Moura; Ossa Morena Zone; Geochemistry; Volcanic rocks; Viana do Alentejo

Índice

1	Introdução.....	1
2	Enquadramento Geológico	2
2.1	Zona de Ossa Morena (ZOM)	2
2.2	A ZOM durante o Ciclo Cadomiano	3
2.3	A ZOM durante Ciclo Varisco	5
2.4	Região de Viana do Alentejo	9
3	Metodologias	11
3.1	Trabalho de Campo.....	11
3.2	Métodos Laboratoriais.....	12
4	Descrição Macroscópica.....	13
5	Petrografia	15
5.1	Rochas Metafélicas	15
5.2	Rochas Metabásicas	16
5.3	Rochas metassedimentares (Xistos)	18
6	Química Mineral.....	19
6.1	Feldspatos.....	19
6.2	Anfíbola	23
6.3	Piroxena.....	24
6.4	Epídoto	25
6.5	Granada.....	26
6.6	Micas.....	27
6.7	Óxidos.....	29
7	Litogeoquímica	30
7.1	Elementos Maiores	31
7.2	Elementos Traço	35
7.3	Diagramas Discriminantes.....	42
8	Geoquímica Isotópica.....	44
8.1	Isócrona	45
8.2	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs ϵNd	48
8.3	Idades Modelo.....	50
9	Discussão	51
9.1	Petrogénese.....	51
9.2	Evolução magmática	57

9.3	Metamorfismo e metassomatismo	57
9.4	Enquadramento na evolução geodinâmica da ZOM.....	59
10	Conclusões.....	69
11	Referências	72
12	Anexos	85
12.1	Tabelas de litogeoquímica.....	85
12.2	Tabelas da Química Mineral	92
12.2.1	Feldspatos.....	92
12.2.2	Piroxenas	101
12.2.3	Anfíbolas.....	104
12.2.4	Epídoto	109
12.2.5	Micas.....	111
12.2.6	Óxidos.....	113

Índice de figuras

Figura 2.1 - Divisão tectono-estratigráfica do Maciço Ibérico (adaptado de Moreira (2017). Área de estudo representada pelo quadrado a vermelho.	2
Figura 2.2 - Divisão da ZOM em sectores (adaptado de Araújo et al., 2013). Área de estudo representada pelo rectângulo a vermelho.	3
Figura 2.3 – A – Desenvolvimento de um arco vulcânico associado à subducção do oceano Iapetus; B – Abertura de uma bacia de back-arc com vulcanismo bimodal associado; C – Período de oceanização na bacia de back-arc; D – Fecho da bacia de back-arc, devido à inversão. Adaptado a partir de Moreira (2017).	4
Figura 2.4 - Evolução da ZOM durante o Câmbrio Inferior-Médio. Adaptado de (Moreira et al. 2017).....	6
Figura 3.1 - Mapa com a localização das amostras colhidas. Adaptado a partir das folhas 40-C (Viana do Alentejo; Carvalhosa, 1972b) e 40-D (Portel; Carvalhosa, 1967), à escala 1/50 000.	11
Figura 4.1 - Exemplos de amostras metabásicas. A- Amostra PMT-6, apresentando fases minerais esverdeadas. B- Amostra PMT-11, denotando uma tonalidade mais escura, apresentando ocasionais cristais esbranquiçados (feldspato).....	13
Figura 4.2 – Exemplos de amostras metafélicas. A - Amostra PMT-1, denotando uma orientação preferencial das moscovites. B - Amostra PMT-12A, apresentando vários filonetes cloríticos.	14
Figura 4.3 – A - Amostra metassedimentar PMT-8B, apresentando um brilho anacarado devido a abundância de moscovite. B - Amostra calco-silicatada PMT-9C, com epídoto a rodear um veio de granada.	14
Figura 5.1 – Aspeto petrográfico das amostras metafélicas. A - Finas camadas de moscovite e biotite envolvendo as porções quartzosas na amostra PMT-1. B - Filonetes de clorite a cortar a matriz quartzosa da amostra PMT-12A.....	15
Figura 5.2 – Aspeto petrográfico dos Xistos Verdes. A - Textura anastomosada, com a anfíbola a envolver os cristais de feldspato na amostra PMT-9B. B - Foliação mais acentuada na amostra PMT-15, com frequente alteração da anfíbola para clorite. C - Aspeto granoblástico da amostra PMT-16, com epídoto abundante. D - Clorite metamórfica a rodear anfíbola na amostra PMT-8C.....	17
Figura 5.3 – Aspeto petrológico dos anfíbolitos. A - Piroxena abundante na amostra PMT-7. B - Predominância de hornblenda na amostra PMT-11. C - Granadas rodeadas por calcite na amostra PMT-4. D - Granada rodeada por epídoto na amostra PMT-9C.	18
Figura 5.4 - Aspeto petrográfico das amostras metassedimentares. A - Clivagem de crenulação na moscovite da amostra PMT-8B. B - Aspeto mais quartzoso da amostra PMT-10, apresentando também alguma andaluzite.....	19
Figura 6.1 - Projeção das análises de feldspato das amostras metabásicas no diagrama Anortite-Albite-Ortose. PMT-4 (■), PMT-6 (■), PMT-7 (■), PMT-11 (■), PMT-12B (■), PMT-14 (■), PMT-15 (■), PMT-16 (■).	20
Figura 6.2 - Projeção das análises de feldspato das amostras metafélicas no diagrama Anortite-Albite-Ortose. PMT-2 (●), PMT-3 (●), PMT-12A (●).	21
Figura 6.3 - Projeção das análises de feldspato das amostras metafélicas no diagrama Anortite-Albite-Ortose. PMT-8B (▲), PMT-10 (▲).	22
Figura 6.4 - Projeção das análises de anfíbolos das amostras metabásicas no diagrama das anfíbolos cálcicas de Locock (2014). Simbologia igual à da Fig. 6.1.	23
Figura 6.5 - Projeção das análises de anfíbolos das amostras metabásicas no diagrama Leake et al. (1997). Simbologia igual à da Fig. 6.1.....	24

Figura 6.6 - Projeção das análises de piroxenas das amostras metabásicas no diagrama de Morimoto (1988). Simbologia igual à da Fig. 6.1.....	25
Figura 6.7- Projeção das análises de epidoto das amostras metabásicas no diagrama de Kartashov (2014). Simbologia igual à da Fig. 6.1.....	26
Figura 6.8 - Perfis bordo-núcleo-bordo das granadas 1 (a), 2 (b), 7 (c) e 8 (d). As componentes de andradite e grossulária são projetadas no eixo principal, enquanto as restantes são projetadas no eixo secundário.....	27
Figura 6.9 – Projeção das moscovites no diagrama de Tischendorf et al. (2004). $Feal = Fe_{TOT} + Mn + Ti - Al^{IV}$; $mgli = Mg - Li$. PMT-2 (●), PMT-8B (▲).	28
Figura 6.10 – Projeção das biotites no diagrama Al^{IV} Vs $Fe/(Fe/Mg)$ de Deer et al. (2013). PMT-10 (▲).	29
Figura 6.11 - Projeção das análises de óxidos das amostras metabásicas e metafélsicas no diagrama $FeO - TiO_2 - Fe_2O_3$. PMT-10 (▲), PMT-12A (●), PMT-12B (■), PMT-15 (■).....	30
Figura 7.1 - Diagrama Na_2O/K_2O vs Na_2O+K_2O de Myashiro (1975). Setor da estrutura de Viana do Alentejo (Félsicas - ●; Básicas - ●); Setor da Estrutura de Oriola (Félsicas - ■; Básicas - ■); Setor de S.Bartolomeu do Outeiro (Félsicas - ■; Básicas - ■); Setor da Estrutura de Portel-S.Lourenço (▲)...	32
Figura 7.2 - A - Diagrama TAS (Le Bas et al., 1986) para a classificação das amostras rochas máficas e félsicas. B - Diagrama de Jensen (1976) para a classificação das amostras máficas e félsicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.....	33
Figura 7.3 - Diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971) e b) Índice de aluminosidade de Maniar & Piccoli (1989) para as amostras máficas e félsicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.....	34
Figura 7.4 - Diagramas de Harker de Al_2O_3 , CaO , TiO_2 , K_2O , MgO , P_2O_5 , Na_2O e FeO para as amostras máficas e félsicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.	35
Figura 7.5 - Diagramas de Harker de Rb, Sr, Zr, Nb, Ba e $(La/Lu)_N$ para as amostras máficas e félsicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.....	36
Figura 7.6 - Diagrama multi-elementar para as amostras máficas, normalizadas ao Manto Primitivo (Sun & Mcdonough, 1995). Simbologia igual à da Fig. 7.1.	37
Figura 7.7 - Diagrama multi-elementar para as amostras máficas, normalizadas a E-MORB (Sun & Mcdonough, 1995). Simbologia igual à da Fig. 7.1.	38
Figura 7.8 - Diagrama multi-elementar para as amostras máficas, normalizadas a N-MORB (Sun & Mcdonough, 1995). Simbologia igual à da Fig. 7.1.	38
Figura 7.9 - Diagrama multi-elementar para as amostras félsicas, normalizadas à crosta inferior (Taylor & McLennan, 1995). Simbologia igual à da Fig. 7.1.	39
Figura 7.10 - Diagrama multi-elementar para as amostras félsicas, normalizadas à crosta superior (Taylor & McLennan, 1995). Simbologia igual à da Fig. 7.1.	40
Figura 7.11 - Diagrama de padrões de REE (terras raras) para as amostras félsicas, normalizadas ao condrito (Mcdonough & Sun, 1995). Simbologia igual à da Fig. 7.1.	41
Figura 7.12 - Diagrama de padrões de REE (terras raras) para as amostras máficas, normalizadas ao condrito (Mcdonough & Sun, 1995). Simbologia igual à da Fig. 7.1.	41
Figura 7.13 - Diagrama discriminante de $Hf/3 - Th - Nb/16$ de Wood (1980). Simbologia igual à da Fig. 7.1.....	42
Figura 7.14 - Diagrama discriminante Nb/Yb vs Th/Yb de Pearce (2008). Simbologia igual à da Fig. 7.1.....	43
Figura 7.15 - Diagramas discriminantes Rb vs $Y+Nb$, Nb vs Y , Rb vs $Ta+Yb$ e Ta vs Yb para as amostras félsicas (Pearce et al., 1984). Simbologia igual à da Fig. 7.1.....	44
Figura 8.1 - Isócrona $Rb - Sr$ para as amostras metafélsicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.....	46

Figura 8.2 - Isócrona Rb – Sr para as amostras metabásicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.	47
Figura 8.3 - Isócrona Sm – Nd para as amostras metafélicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.	47
Figura 8.4 - Isócrona Sm – Nd para as amostras metabásicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.	48
Figura 8.5 - Isócrona Sm – Nd para as amostras metabásicas, sem as amostras PMT-8C e PMT-12B. Simbologia igual à da Fig. 7.1.	48
Figura 8.6 - Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ vs ϵNd_i para as amostras meta-vulcânicas de Viana do Alentejo. $i = 320$ Ma. Simbologia igual à da Fig. 7.1.	50
Figura 9.1 - Projeção da razão La/Lu (normalizada ao condrito segundo Sun & McDonough, 1995) vs #Mg. Simbologia igual à da Fig. 7.1.	53
Figura 9.2 - Diagrama Ce/Yb vs La/Ta para os metabasaltos de Viana do Alentejo. Simbologia igual à da Fig. 7.1.	55
Figura 9.3 - Diagrama Th/Yb vs. Ta/Yb para os metabasaltos de Viana do Alentejo. Diagrama adaptado de Pearce (1982) e Wilson (1989). Simbologia igual à da Fig. 7.1.	56
Figura 9.4 - Comparação dos padrões de REE dos grupos de rochas félicas de Viana do Alentejo (simbologia igual à Fig. 7.1) com: A - Amostras félicas de early rift (●) de Sánchez-Garcia et al. (2010); B – Amostras félicas do Complexo Ígneo do Sardoal (●) de Henriques (2013) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough & Sun (1995).	60
Figura 9.5 - Comparação dos padrões de REE das grupos félicas félicas de Viana do Alentejo (simbologia igual à Fig. 7.1) com Leptinitos do Escoural (●) de Chichorro (2006) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough & Sun (1995).	61
Figura 9.6 - Comparação dos padrões de REE das grupos félicas félicas de Viana do Alentejo (simbologia igual à Fig. 7.1) com os plutonitos de Calera (●), Tablada (○), S.Barros (●), Barquete (○) e Barreiros (●) de Sánchez-Garcia et al. (2014) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough & Sun (1995).	61
Figura 9.7 - Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs ϵNd comparando as assinaturas isotópicas dos riólitos de Viana do Alentejo, cujos dados foram recalculados para $t = 520$ Ma, com os ortognaisses do Complexo Ígneo do Sardoal de Henriques (2013) (Ortognaisse de Souto – V. Vacas para $t = 692$ Ma, ortognaisse de C. Vale Cova – Sardoal para $t = 548$ Ma, Ortognaisse C. Vale Cova – Carvalhal para $t = 569$ Ma), as amostras Maciços plutónicos de Calera, S. Barros e Tablada para $t = 520$ Ma e do maciço de Barreiros para $t = 525$ Ma de (Sánchez-Garcia et al. (2014), granulito félico e ortognaisse de Safira de Oliveira (2020) para $t = 520$ Ma, os leptinitos do Escoural de Chichorro et al. (2008) para $t = 500$ Ma e amostras de early rift de Sánchez-Garcia et al. (2010) para $t = 530$ Ma.	62
Figura 9.8 - Comparação dos padrões de REE das grupos félicas félicas de Viana do Alentejo (simbologia igual à Fig. 7.1) com os ortognaisses de Alcáçovas (○) de Telhado (2018) e os ortognaisse de Valverde (●) de Chichorro (2006) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough & Sun (1995).	63
Figura 9.9 - Comparação dos padrões de REE das grupos félicas félicas de Viana do Alentejo (simbologia igual à Fig. 7.1) com as rochas félicas associadas ao evento de main rift (●) de Sánchez-Garcia et al. (2010) e os ortognaisse de Valverde (●) de Chichorro (2006) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough.	64
Figura 9.10 – Comparação dos padrões de REE das amostras máficas de Viana do Alentejo (simbologia igual à Fig. 7.1) com anfibolitos I (■), II (■) e III (■) de Chichorro (2006) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough & Sun (1995).	65
Figura 9.11 - Comparação dos padrões de REE das amostras máficas de Viana do Alentejo (simbologia igual à fig. 7.1) com amostras máficas associadas ao evento de main rift N-MORB (■) e OIB/E-MORB (■) de Sánchez-Garcia et al. (2010) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough & Sun (1995).	65

Figura 9.12 - Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs ϵNd comparando as assinaturas isotópicas dos metabasaltos de Viana do Alentejo, cujos dados foram recalculados para $t = 520 \text{ Ma}$, com outras amostras máficas da ZOM, nomeadamente os anfibolitos de Chichorro (2006) para $t = 500 \text{ Ma}$, as rochas básicas metamórficas de Telhado (2018) para $t = 526 \text{ Ma}$ e os eclogitos de Oliveira (2020) para $t = 370 \text{ Ma}$. 66

Figura 9.13 – Comparação dos padrões de REE das amostras máficas de Viana do Alentejo (simbologia igual à fig. 7.1) com: A - Metabasaltos (■) de Pedro (2004); B - com as rochas básicas das unidades de Odearce (□), Alqueva (■) e Moinho de Vilares (■) de Araújo et al. (2005); Rochas básicas metamórficas (■) de Telhado (2018) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough & Sun (1995)..... 67

Figura 9.14 - Comparação das amostras metabásicas de Viana do Alentejo (simbologia igual à das figuras 7.1) com os metabasaltos (■) de Pedro (2004), as rochas básicas das unidades de Odearce (□), Alqueva (■) e Moinho de Vilares (■) de Araujo et al. (2005), os anfibolitos I (■), II (■) e III (■) de Chichorro (2006), as amostras máficas associadas ao evento de main rift N-MORB (■) e OIB/E-MORB (■) de Sánchez-Garcia et al. (2010), as rochas básicas metamórficas (■) de Telhado (2018) no diagrama Th/Yb vs Nb/Yb de Pearce (2008). 69

Índice de tabelas

Tabela 6.1 - Frações molares de anortite, ortose e albite dos feldspatos das amostras metabásicas analisadas.	20
Tabela 6.2 - Frações molares de anortite, ortose e albite dos feldspatos das amostras metafélicas analisadas.	21
Tabela 6.3 - Frações molares de anortite, ortose e albite dos feldspatos das amostras metassedimentares analisadas.	22
Tabela 6.4 - Limites mínimos e máximos dos valores das frações molares de volastonite, enstatite e ferrossilite obtidos nas piroxenas das amostras PMT-4, PMT6 e PMT-11.	25
Tabela 6.5 - Variação composicional dos elementos mais importantes das moscovites analisadas.	28
Tabela 6.6 - Variação composicional dos elementos mais importantes das biotites analisadas.	29
Tabela 7.1 - Composição química (Wt%) dos elementos maiores das amostras básicas e félicas analisadas.	31
Tabela 8.1 - Tabela com as razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ para $t = 0$, com os respectivos erros.	45
Tabela 8.2 - Tabela com a razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e ϵNd para $i = 320$	49
Tabela 8.3 - Tabela com as idades modelo obtidas para as amostras em estudo.	51
Tabela 9.1 - Tabela com as razões K/P e Ti/Yb das amostras básicas.	54
Tabela 12.1 - Tabela de litogeoquímica com as análise elementares das amostras félicas.	85
Tabela 12.2 - Tabela de litogeoquímica com as análise elementares das amostras básicas.	87
Tabela 12.3 - Análise composicional e forma estrutural dos feldspatos das amostras básicas.	92
Tabela 12.4 - Análise composicional e forma estrutural dos feldspatos das amostras félicas.	96
Tabela 12.5 - Análise composicional e forma estrutural dos feldspatos das amostras Análise composicional e forma estrutural dos feldspatos das amostras metassedimentares.	98
Tabela 12.6 - Análise composicional e forma estrutural das piroxenas das amostras estudadas.	101
Tabela 12.7 - Análise composicional e forma estrutural das anfíbulas das amostras estudadas.	104
Tabela 12.8 - Análise composicional e forma estrutural dos epídotos das amostras estudadas.	109
Tabela 12.9 - Análise composicional e forma estrutural das biotites e moscovites das amostras estudadas.	111
Tabela 12.10 - Análise composicional e forma estrutural dos óxidos das amostras estudadas.	113

Lista de abreviaturas

CAB – *Continental Arc Basalts*

COBA - Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches

CVSFM - Complexo Vulcano-Sedimentar de Ficalho-Moura

DG-FCUL – Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

DM – *Depleted Mantle*

E - Este

GET-OMP - Géosciences Environnement Toulouse - Observatoire Midi-Pyrénées

HFSE - *High Field Strength Elements*

HREE - *Heavy Rare Earth Elements*

IAT – *Island Arc Tholeiites*

ICP-MS - *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*

ICP-OES - *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*

IOMZOS – *Internal Ossa Morena Zone Ophiolites Sequences*

km – Quilómetro

LILE - Large-Ion Lithophile Elements

LREE - *Light Rare Earth Elements*

Ma – Milhões de anos

MI – Maciço Ibérico

MORB – *Mid-Ocean Ridge Basalts*

N – Norte

NE – Nordeste

NW – Noroeste

OIB – *Ocean Island Basalts* VAG - Volcanic Arc Granites

ORG - *Ocean Ridge Granites*

ppm – partes por milhão

REE - *Rare Earth Elements*

S - Sul

SN - Série Negra

SHRIMP - *Sensitive High-Resolution Ion Microprobe*

syn-COLG – *syn-Collision Granites*

SW - Sudoeste

TAI - Terreno Autóctone Ibérico

W – Oeste

wt% – peso percentual

WPG - *Within Plate Granites*

ZC - Zona Cantábrica

ZCI – Zona Centro Ibérica

ZGTM - Zona Galiza-Trás-os-Montes

ZOAL - Zona Oeste-Astúrico-Leonesa

ZOM - Zona de Ossa-Morena

ZSP - Zona Sul-Portuguesa

1 Introdução

Um dos primeiros estudos realizados na região de Viana do Alentejo, situada no SW da Zona de Ossa-Morena (ZOM), foi realizado por Carvalhosa (1972a), o qual identificou dois grupos de rochas – metassedimentares e vulcânicas básicas e ácidas – estando estas distribuídas, do ponto de vista litostratigráfico, por quatro formações distintas: Série Negra de Portel; Série calcário-dolomítica; Série Negra de Águas de Peixe; e Micaxistos e rochas verdes da Série de Moura (Xistos de Moura). As formações reconhecidas no trabalho de Carvalhosa (1972a) foram posteriormente constrangidas do ponto de vista temporal com base em correlações litológicas com unidades da porção espanhola da ZOM, dada a escassez de fósseis e dados geocronológicos nas rochas da região de Viana do Alentejo (Teixeira, 1981; Carvalhosa, 1983a, 1983b; Oliveira *et al.*, 1991).

Por sua vez, as rochas meta-vulcânicas de Viana do Alentejo encontram-se intercaladas na Formação dos Xistos de Moura (Carvalhosa, 1972), sendo esta formação composta por uma sequência deformada de micaxistos com intercalações de rochas vulcânicas máficas e félsicas, bem como xistos negros, níveis carbonatados e rochas metamórficas de alta pressão, nomeadamente xistos azuis e eclogitos (Araújo *et al.*, 2005, 2013). O enquadramento geodinâmico dos Xistos de Moura na ZOM não é ainda completamente compreendido, sendo a própria idade desta formação alvo de bastante debate. À formação dos Xistos de Moura é tipicamente atribuída uma idade Ordovícica Superior a Devónica Inferior (Piçarra, 2000), tendo tal idade sido obtida com base em dados paleontológicos, através da identificação de graptólitos em liditos e xistos negros perto da fronteira espanhola. No entanto, esta idade Ordovícica Superior a Devónica Inferior é interpretada por Araújo *et al.* (2005) como correspondendo à idade de imbricação tectónica dos Xistos de Moura. Dados geoquímicos, litostratigráficos e tectonostratigráficos recentes, apoiados por geocronologia de alta resolução em domínios adjacentes (Araújo *et al.*, 2005; Chichorro, 2006), sugerem que, pelo menos, alguns metassedimentos e rochas vulcânicas de Viana do Alentejo podem ser incluídos nas sucessões do Paleozóico Inferior do Complexo Vulcano-Sedimentar de Ficalho-Moura (CVSFM), pertencentes à Cintura Metamórfica de Évora-Aracena (Chacón *et al.*, 1983).

Com vista a se compreender a génese das rochas meta-vulcânicas de Viana do Alentejo e seu enquadramento geodinâmico dentro do Ciclo Varisco, procedeu-se à sua caracterização petrológica e geoquímica (elementar e isotópica), bem como à sua correlação com rochas ígneas petrograficamente similares presentes noutros sectores do SW da ZOM. Tal correlação poderá contribuir para uma reinterpretação dos padrões cartográficos de um domínio fortemente obliterado pelo metamorfismo varisco e deformação associada, contribuindo, assim, para uma melhor compreensão da evolução geodinâmica da ZOM no contexto deste ciclo orogénico.

2 Enquadramento Geológico

2.1 Zona de Ossa Morena (ZOM)

A ZOM, situada no SW da Península Ibérica, é limitada a N pela falha de Tomar-Badajoz-Córdoba e a S pelo cavalgamento Ferreira-Ficalho (Sánchez-García *et al.*, 2003), correspondendo a um dos 6 grandes domínios do Maciço Ibérico (MI) definidos por Lotze (1945), posteriormente redefinidos por Julivert *et al.* (1974) e, entre outros, por Arenas *et al.* (2007). O MI corresponde à porção mais ocidental do soco Varisco Europeu, apresentando apenas ao longo de estruturas herdadas variscas, os efeitos tectónicos associados à Orogenia Alpina (Dallmeyer & Martínez Garcia, 1990). Para além da ZOM, o MI é também composto pela Zona Cantábrica (ZC), Zona Oeste-Astúrico-Leonesa (ZOAL), Zona Galiza-Trás-os-Montes (ZGTM), Zona Centro Ibérica (ZCI) e Zona Sul-Portuguesa (ZSP) (Fig. 2.1).

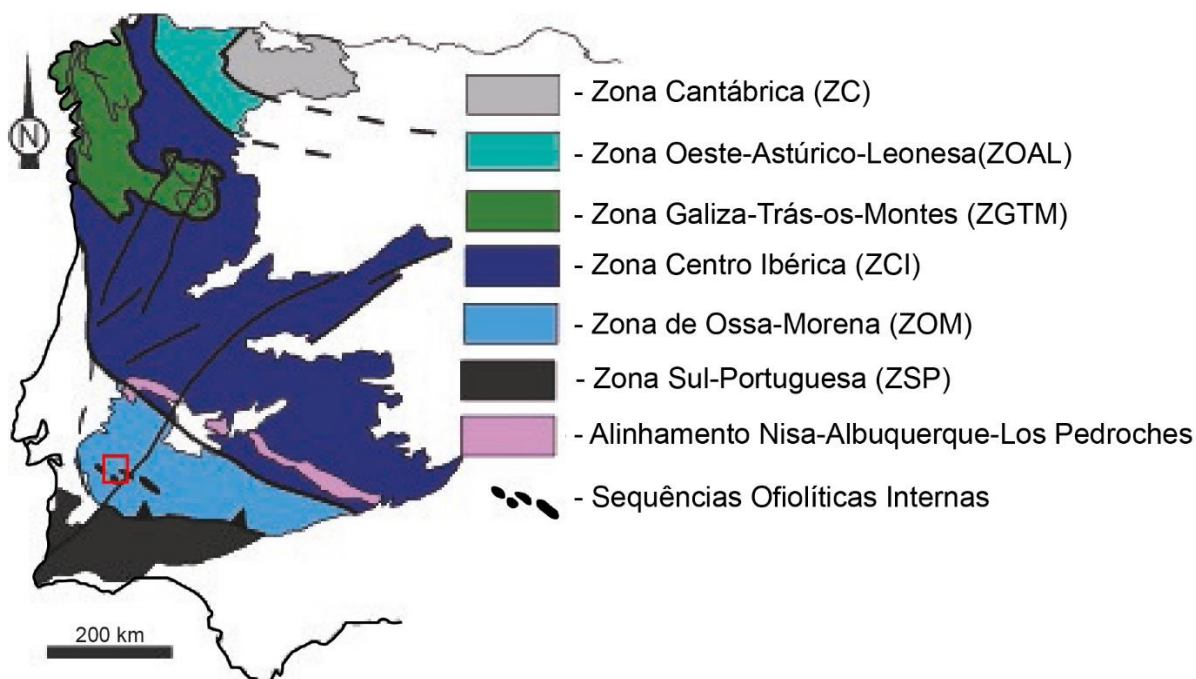


Figura 2.1 - Divisão tectono-estratigráfica do Maciço Ibérico (adaptado de Moreira (2017). Área de estudo representada pelo quadrado a vermelho.

A ZOM é tipicamente subdividida em zonas e sub-zonas (Carvalhosa, 1972), em domínios tectono-estratigráficos (Chacón *et al.*, 1974; Delgado *et al.*, 1977; Apalategui *et al.*, 1990) ou em sectores (Oliveira *et al.*, 1991). A subdivisão em sectores, proposta por Oliveira *et al.* (1991) é a que melhor se aplica à porção portuguesa da ZOM, uma vez que nem todas as regiões com características geológicas particulares se encontram separadas por acidentes tectónicos, nomeadamente a divisão entre o sector Montemor-Ficalho e o Complexo Ígneo de Beja. De acordo com Oliveira *et al.* (1991) a ZOM é subdividida nos seguintes sectores de NE para SW: Faixa Blastomilonítica, Sector Alter do Chão-Elvas, Sector Estremoz-Barrancos, Sector Montemor-Ficalho e Complexo Ígneo de Beja (Fig. 2.2).

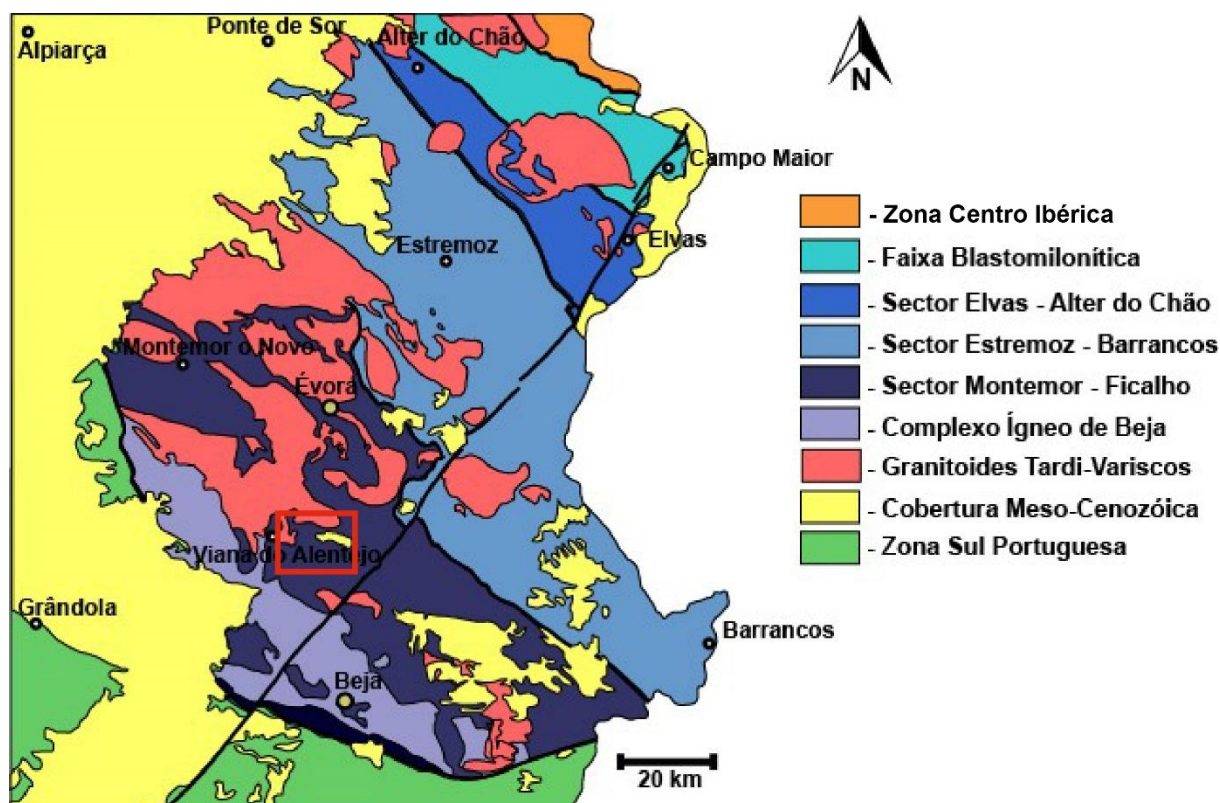


Figura 2.2 - Divisão da ZOM em sectores (adaptado de Araújo *et al.*, 2013). Área de estudo representada pelo retângulo a vermelho.

2.2 A ZOM durante o Ciclo Cadomiano

A ZOM corresponde a uma região com características únicas do MI, dada a presença de um soco Neoproterozóico com evidências de estruturação adquirida durante o ciclo Cadomiano, sobre o qual se sobrepõem litologias Paleozóicas, constituindo um conjunto afetado pela Orogenia Varisca (Quesada *et al.*, 1990). A Orogenia Cadomiana é responsável pela acreção da ZOM ao Terreno Autóctone Ibérico (TAI) (Rosas, 2003), sendo que, segundo Eguíluz *et al.* (2000), o Ciclo Cadomiano ter-se-á iniciado há cerca de 600 Ma com o desenvolvimento de um arco magmático, resultante da subducção de litosfera oceânica sob a margem W e N do Gondwana (Fig. 2.3A). Associada a esta subducção desenvolveu-se uma bacia de *back-arc*, devido à presença de um regime extensional local (Linnemann *et al.*, 2008; Fig. 2.3B). A ZOM representaria esse ambiente geodinâmico de transição de um arco para uma bacia *back-arc* (Eguíluz *et al.*, 2000; Linnemann *et al.*, 2008). Contemporaneamente à abertura desta bacia, deu-se a deposição de sedimentos clásticos na mesma, compondo aquilo a que hoje se designa de “Série Negra” (Eguíluz *et al.*, 2000; Linnemann *et al.*, 2008; Moreira, 2017), muito bem representada no sector Montemor-Ficalho (Chichorro, 2006). A sequência sedimentar da “Série Negra” pode ser dividida em duas sequências sedimentares distintas: a) uma sequência inferior composto por pelitos e quartzovaques ricos em grafite, com frequentes intercalações de chertes e com uma abundância de anfíbolitos no topo (anfíbolitos de Montemolin), bem representada na sucessão de Montemolin; e b) uma sequência superior maioritariamente constituída por sedimentos detríticos enriquecidos numa componente vulcano-clástica, evidenciada na sucessão de Tentudia (Quesada *et al.*, 1990).

Por sua vez, por volta dos 560-570 Ma (Fig. 2.3C), dá-se início ao fecho da bacia de *back-arc*, o qual culmina com a colisão entre o arco e o paleo-continente Gondwana. Segundo o modelo de Linnemann *et al.* (2007, 2008) esta colisão dá-se de forma diacrónica (de E para W, coordenadas atuais),

sendo a bacia de *back-arc* inicialmente transformada numa bacia de *retro-arc* e tendo esta um tempo de vida bastante curto. A geração da bacia de *retro-arc* foi interpretada a partir de formações aflorantes na Zona Saxo-Turingica do Maciço da Boémia, não tendo sido encontrados quaisquer equivalentes na ZOM (Linnemann *et al.*, 2008). No que respeita à colisão arco-continente responsável pela acreção da ZOM, esta terá ocorrido por volta dos 545-540 Ma (Linnemann *et al.*, 2008; Fig. 2.3D), sendo esta fase marcada pela geração de rochas metamórficas de alto grau (Mata & Munhá, 1986; Abalos *et al.*, 1991a; Eguíluz *et al.*, 2000) e pela intrusão de granitoides de arco, resultantes de um elevado fluxo térmico gerado pelo slab-breakoff da placa oceânica subductada (Ochsner, 1993; Talavera *et al.*, 2008; Andonaegui *et al.*, 2016). Posteriormente no Paleozóico inferior, todo este contexto de Arco e de Back-Arc bem representado pela ZOM, terá progredido para um estágio de Rift-to-Drift, gravado em três ciclos de magmatismo (ver adiante).

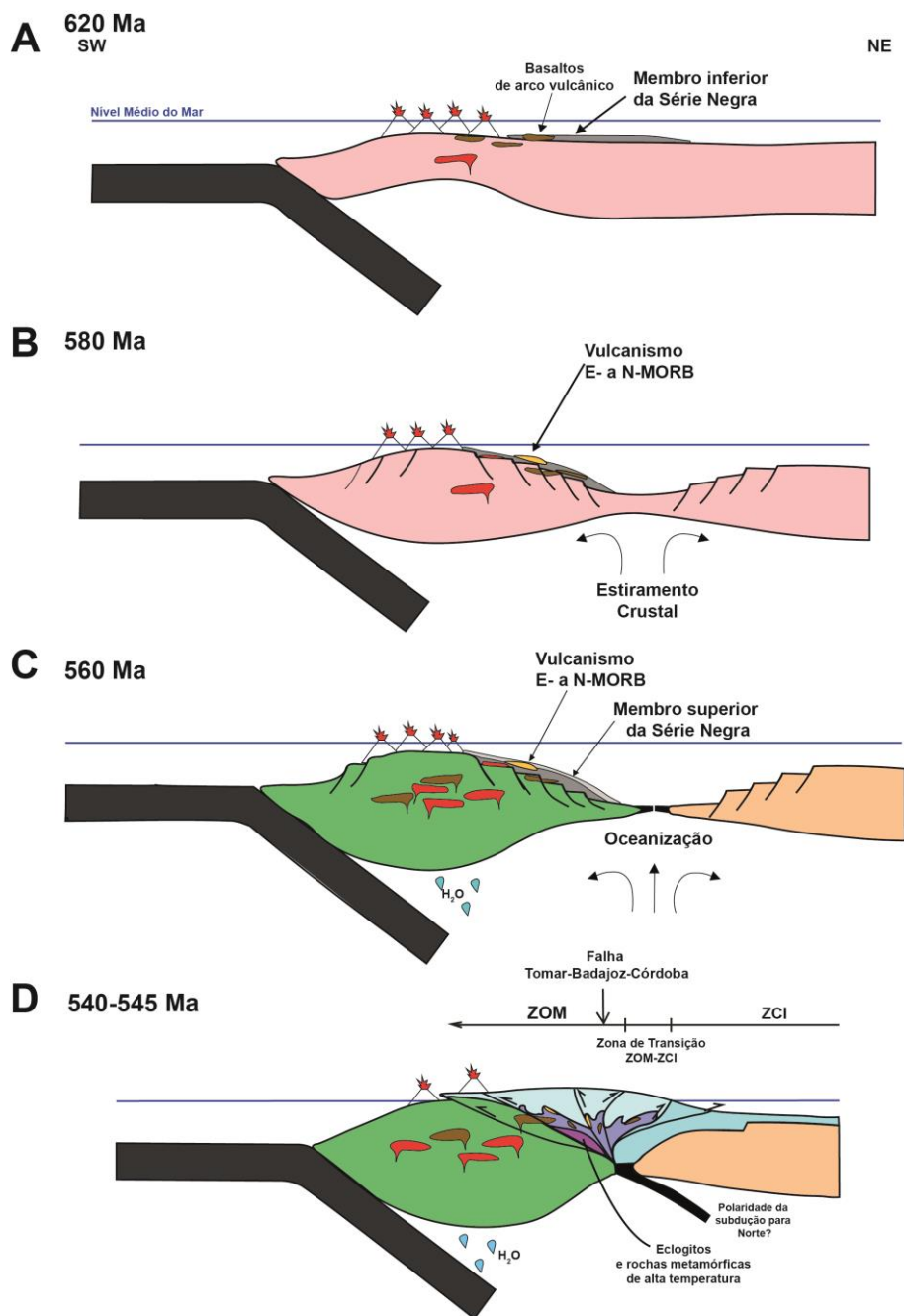


Figura 2.3 – A – Desenvolvimento de um arco vulcânico associado à subducção do oceano Iapetus; B – Abertura de uma bacia de back-arc com vulcanismo bimodal associado; C – Período de oceanização na bacia de back-arc; D – Fecho da bacia de back-arc, devido à inversão. Adaptado a partir de Moreira (2017).

2.3 A ZOM durante Ciclo Varisco

Após a Orogenia Cadomiana o MI foi sujeito a um período de estiramento crustal (Sánchez-García *et al.*, 2019; Fig. 2.4) que culminou com a abertura do Oceano Rheic no Ordovício Inferior (Pedro *et al.*, 2010; Nance *et al.*, 2012). A abertura do Rheic, à semelhança da colisão Cadomiana, deu-se de forma diacrónica (Nance *et al.*, 2012, Álvaro *et al.*, 2014), sendo que o mecanismo responsável por esta transição colisão-rifting é um assunto ainda controverso. Atualmente existem quatro mecanismos propostos para a abertura do Oceano Rheic. Um destes modelos defende que o fim da orogenia cadomiana e início do *rifting* deve-se ao *upwelling* de uma pluma mantélica (Crowley *et al.*, 2000; Floyd *et al.*, 2000; Winchester *et al.*, 2006). Um outro mecanismo sugere que a abertura do Rheic resultou de fenómenos extensionais numa bacia de *back-arc* provocados por *slab roll-back* (Van Staal *et al.*, 1998; Arenas *et al.*, 2007), enquanto o outro mecanismo defende que o início do *rifting* deveu-se à propagação de uma crista oceânica para meio continental e consequente colisão do tipo *ridge-trench* (Nance *et al.*, 2002; Linnemann *et al.*, 2007). Por fim, Hajná *et al.* (2018) defende que esta transição está associada a um regime tectónico caracterizado por períodos de acreção, alternados com períodos extensivos, com consequente formação de bacias.

Esta transição de um ambiente tectónico convergente para um ambiente divergente no Câmbrio inferior encontra-se marcada na ZOM por uma lacuna sedimentar, gerada devido ao *uplift* da ZOM e subsequente erosão e/ou não deposição de sedimentos, gerando assim uma discordância (Oliveira *et al.*, 1991; Sánchez-García *et al.*, 2010). Em alguns sectores, é possível observar-se a estruturação das unidades Neoproterozóicas ao contrário do que se verifica nas unidades da base do Câmbrio, o que significa que esta discordância deve ser vista como uma discordância angular fundamental para a compreensão da evolução da ZOM (Discordância Cadomiana).

Sob esta discordância depositou-se uma sequência detrítica-conglomerática (Série detrítica inferior) e, posteriormente, uma sequência carbonatada a antecipar uma série detrítica superior, observando-se intercalações de rochas vulcânicas calco-alcalinas e peraluminosas nas unidades detríticas, que segundo Sánchez-García *et al.* (2003, 2008, 2010, 2019) representam um evento magmático, o *early rift event*. Por sua vez, este magmatismo transita para um ciclo dominado por um magmatismo de tendência bimodal toleítica (Mata & Munhá, 1990), correspondente a um novo evento magmático, o *main rift event* (Sánchez-García *et al.*, 2003, 2008, 2010, 2019). Este vulcanismo bimodal prolonga-se para o Câmbrio Médio e, posteriormente, para o Câmbrio Superior, e evoluindo para magmatismo transicional alcalino e peralcalino (Mata & Munhá, 1990; Ribeiro *et al.*, 1992), correspondente ao *late rift event* (Sánchez-García *et al.*, 2019).

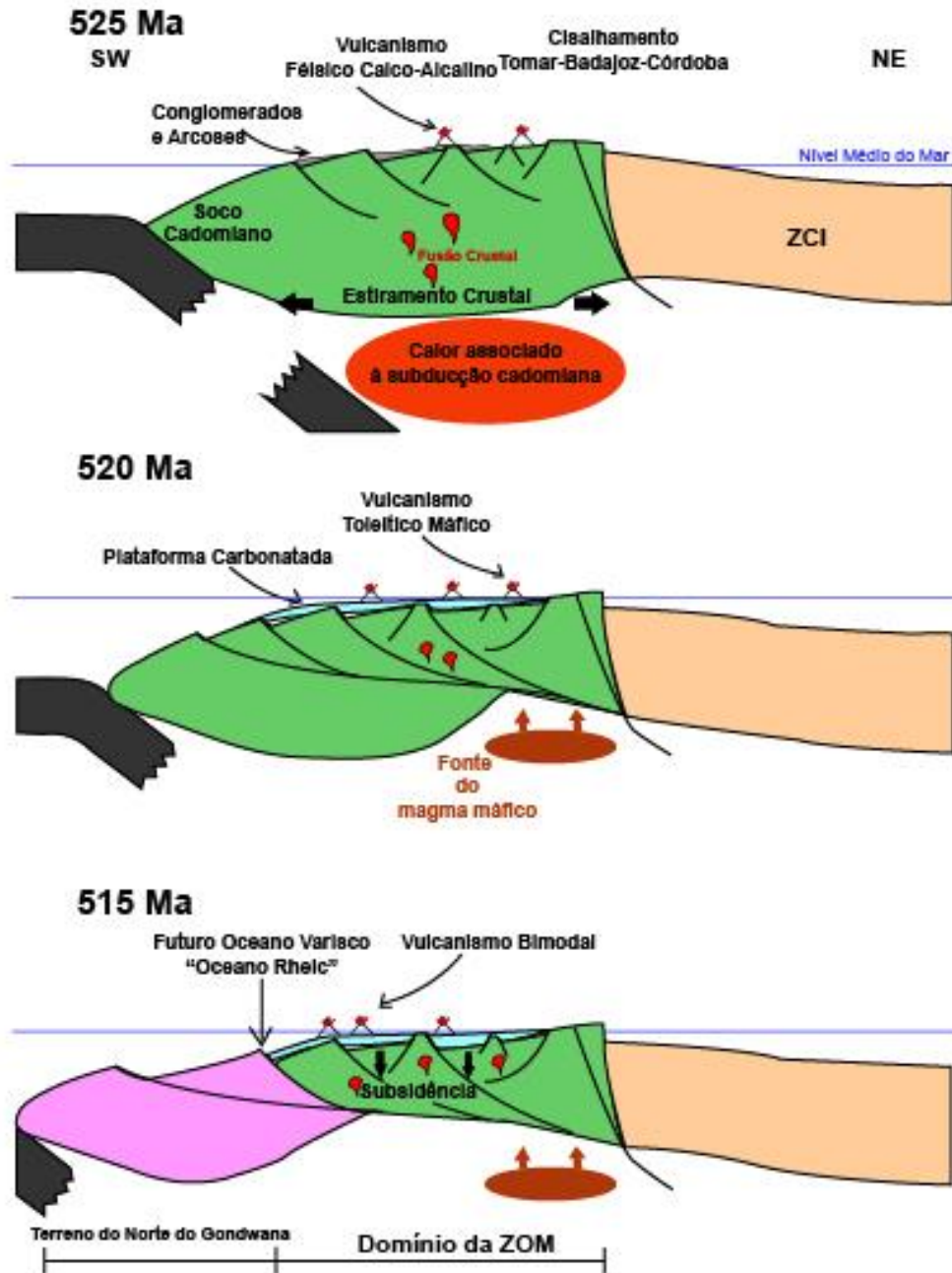


Figura 2.4 - Evolução da ZOM durante o Câmbrio Inferior-Médio. Adaptado de (Moreira et al. 2017).

Após o fim do *main rift*, a ZOM terá sido novamente sobrelevada, estando este período marcado pelo aparecimento de uma discordância (discordância Toledânica) durante a transição Câmbrio-Ordovícico (Oliveira et al., 1991; Ribeiro et al., 2009). Esta transição marca o início do processo de oceanização (*s.s*), responsável pela formação do Oceano Rheic, estando esta fase bem representada na sucessão de "Venta del Ciervo" (López-Guijarro et al., 2007) na ZOM do lado Espanhol. Por sua vez na porção portuguesa da ZOM, foram identificadas rochas básicas e ultrabásicas, interpretadas como correspondendo a seqüências ofiolíticas internas, com idades de 480 Ma (Pedro et al., 2005; Pedro et al., 2010).

No Ordovícico, os fenómenos extensionais tendem a migrar para o interior do Gondwana, sendo tal evidenciado pelo magmatismo do *late rift event* que se observa na ZCI testemunhado pelas Formações vulcano-clásticas de Olho-de-Sapo e Urrea e seus equivalentes sub-intrusivos (Sánchez-García *et al.*, 2019). No entanto, a presença de rochas alcalinas e peralcalinas de idade Ordovícica inferior (Carrilho Lopes, 2004, 2020; Díez Fernández *et al.*, 2014), sobretudo no sector de Alter-do-Chão-Elvas e na faixa blastomilonítica, evidenciam que durante este período a ZOM continuou a ser sujeita a fenómenos extensionais, refletindo-se esta mudança na natureza do magmatismo (de toleítico para alcalino) associada a uma redução da taxa de extensão (Ribeiro & Mata, 1994). De acordo com Quesada (2006), a partir do Ordovícico observa-se uma fase transgressiva, passando a margem NW do Gondwana a comportar-se como uma margem passiva. Esta transição é marcada pela deposição de sedimentos terrígenos (Formação de Barrancos e a Formação de Colorada), que passam progressivamente a xistos negros carbonosos e liditos, típicos de ambientes euxínicos (Oliveira *et al.*, 1991). Contudo, a presença de rochas básicas e félsicas na Formação dos Xistos de Moura (Sector Montemor-Ficalho) e de basaltos alcalinos em xistos silúricos do anticlinal de Estremoz (Sector Estremoz-Barrancos; Gonçalves & Coelho, 1974; Mata & Munha, 1985) pode indicar que a fase extensional na ZOM se tenha prolongado até este período. No entanto, a atribuição destas rochas ao Silúrico é controversa, sendo possível que estas tenham sido geradas no Ordovícico (Oliveira *et al.*, 1991).

No Devónico Inferior, dá-se início à fase convergente responsável pela formação do Orógeno Varisco. Esta mudança de ambiente tectónico encontra-se representada no registo sedimentar pelos sedimentos turbidíticos da formação de Terena (Borrego *et al.*, 2006; Roseiro *et al.*, 2020) e por sedimentos carbonatados com estruturas recifais (Machado *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2019), os quais resultam da sobrelevação da ZOM neste período. A Cadeia Varisca Ibérica, gerada durante a colisão entre a margem NW do Gondwana e a Laurússia, denota uma grande complexidade resultante das diversas etapas colisionais construtoras do orógeno (Dallmeyer *et al.*, 1997; Escuder-Virue et al., 1998; Días *et al.*, 1998; Martínez-Catalán *et al.*, 2007; Montero *et al.*, 2004; Bea *et al.*, 2006; Castiñeiras *et al.*, 2008),

Podem ser estabelecidas quatro etapas gerais de deformação associadas ao Ciclo Varisco (Martínez-Catalán *et al.*, 2007) que se podem sobrepôr, em função de condições locais e das suas diferenças consoante as diversas subdivisões do MI em resposta ao diacronismo dos processos colisionais.

D1 – Etapa de encurtamento crustal (c. 390-370Ma) que se traduz fundamentalmente numa tectónica de carreamentos e instalação das nappes associada a grandes dobras recumbentes, cuja vergência se desenha na direção do núcleo do chamado Arco Ibero-Armoricano. A obducção e imbricação dos complexos ofiolíticos representativos das unidades alóctones do NW da Ibéria está balizada no intervalo 390-375Ma (Martínez-Catalán *et al.*, 2007; Nance *et al.*, 2010), pese embora os seus efeitos constritivos estejam geralmente limitados ao intervalo (c. 370-350Ma - Devónico Superior-Carbónico Inferior).

D2 – O contínuo encurtamento crustal levou ao colapso extensional do orógeno Varisco (Escuder-Virue et al., 1994; Díez Balda *et al.*, 1995; Arenas & Catalán, 2003; Martínez-Catalán *et al.*, 2003; Martínez Catalán *et al.*, 2009; Bastida *et al.*, 2010; Gutiérrez-Alonso *et al.*, 2011). Esta etapa (c. 350 - 320 Ma) está associada à geração de grandes sistemas extensionais (cisalhamentos extensionais ou «detachments») e aos processos tectono-magmáticos relacionados que terão conduzido à geração de magmas, ascensão e instalação sequencial de corpos intrusivos associados a zonas de cisalhamento extensionais (Azevedo & Valle Aguado, 2006).

D3 – Desenvolvimento de Zonas de Cisalhamentos à escala do MI (c. 310-305 Ma), os quais correspondem a grandes sistemas transcorrentes dúcteis e dúcteis frágeis em regime transpressivo e transtensivo (Gutiérrez-Alonso *et al.*, 2015).

D4 - Encurtamento crustal que deforma as estruturas anteriores, gerando dobras muito amplas de planos axiais sub-verticais, e por vezes cavalgamentos e imbricações tectónicas associadas a uma clivagem e localmente a crenulações dos planos S prévios (c. 305 – 290Ma).

Segundo alguns autores, a subducção da litosfera oceânica por debaixo da ZOM, gera uma margem do tipo andina (Santos *et al.*, 1987; Andrade *et al.*, 1991) consubstanciada no magmatismo toleítico calcoalcalino intercalado em calcários do Devónico inferior a médio da região de Odivelas, no bordo S da ZOM, e pelo magmatismo shoshonítico da região de Alter do Chão (Amaral, 2017), sendo esta variação do quimismo indicadora de uma polaridade da subducção da ZSP para N (segundo as coordenadas atuais). Esta fase de subducção encontra-se também evidenciada pelo metamorfismo de alta pressão observado no bordo S da ZOM (Fonseca *et al.*, 1999), com uma idade de cerca de 370 Ma (Moita *et al.*, 2005). Por sua vez, a presença de zircões detríticos e herdados com idades entre 390-370 Ma, nas unidades Devónico-Carboníferas da Zona Sul Portuguesa, são conotados com um magmatismo críptico de Arco (Pereira *et al.*, 2012a).

Tal como foi referido anteriormente, esta fase de encurtamento crustal (D1) é seguida por um episódio extensional intra-orogénico (D2) de idade Carbonífera (Chichorro, 2006; Pereira *et al.*, 2007; 2009; 2012b), cuja génese é associada por certos autores a fenómenos de *slab roll-back/slab breakoff* (Pin *et al.*, 2008; Moreira *et al.*, 2014; Jesus *et al.*, 2016), embora outros mecanismos, tais como deflexão da convergência (Simancas, 1993) e upwelling mantélico (Simancas *et al.*, 2006) sejam usados para a explicar. É durante esta fase extensional que se assiste na ZOM ao desenvolvimento de bacias carboníferas, tais como a bacia de Pedroches, em Espanha (Armendáriz *et al.*, 2008), e bacias de Cabrela e Toca da Moura, em Portugal (Oliveira *et al.* 2006; Chichorro, 2006; Pereira *et al.*, 2009), e de diversos corpos magmáticos intrusivos (Simancas *et al.*, 2006; Jesus *et al.*, 2007; Pin *et al.*, 2008; Cambeses *et al.*, 2014; Cambeses, 2015; Jesús *et al.*, 2016). Estes fenómenos estensionais são igualmente responsáveis pela exumação dos eclogitos gerados em D1 (Chichorro, 2006; Jesus *et al.*, 2007; Rosas *et al.*, 2008) e pelo desenvolvimento de um episódio metamórfico de alta temperatura e baixa pressão (Abalos *et al.*, 1991b; Eguiluz *et al.* 2000; Díaz Azpíroz, 2006; Díaz Azpíroz *et al.*, 2006), que afetou o SW da ZOM no Tournaisiano-Viseano e cujo pico metamórfico foi atingido no intervalo 342-335 Ma (Chichorro, 2006; Pereira *et al.*, 2009).

Recentemente, datações SHRIMP U – Pb obtidas em zircões magmáticos do Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches (COBA) (332-340 Ma; Azor *et al.*, 2008) sugerem que este terá sido gerado durante este episódio extensional intra-orogénico. Estas idades sobrepõem-se às idades de arrefecimento pós-metamórfico interpretadas nas rochas do COBA (Dallmeyer *et al.*, 1993; Castro *et al.*, 1999), pelo que se interpreta que este complexo ofiolítico terá tido origem numa bacia oceânica marginal efémera (Murphy *et al.*, 2015; Braid *et al.*, 2018), tendo a sua formação, deformação e o metamorfização ocorrido num curto espaço de tempo. Por sua vez, a obducção e inversão deste complexo ofiolítico terá ocorrido após o fim do episódio extensional intra-orogénico, aquando do início da colisão continente-continente (Tardi-D3-Sin D4), sendo atribuída uma idade Viseana superior ao início desta colisão na ZOM (Quesada 1991, 1998).

A estrutura arqueada no Maciço Ibérico, ligando este ao Maciço Armoricano (França), levou à definição do denominado Arco Ibero-Armoricano. Esta geometria arqueada do orógeno Ibérico terá sido resultante da flexão de um orógeno linear prévio e das estruturas Variscas nele contidas em torno de um

eixo vertical transformando-o num orógeno curvo (oroclinal) (Gutiérrez-Alonso *et al.*, 2015), num processo ao qual se associam magmas tardios gerados por delaminação crustal. No entanto, a acomodação contínua do promontório Ibero-Aquitânico ao indentor Cantábrico durante a colisão Varisca, é vista por Dias *et al.* (2016), como sendo o mecanismo que melhor justifica o Arco Ibero-Armoricano e a cinemática das zonas de cisalhamento que segmentam o maciço Ibérico e o maciço Armoricano.

O carácter geral não coaxial da deformação observável na ZOM, está patente no desenvolvimento de sistemas de “strike-slip” intracontinental que refletem um regime transpressivo sinistrógiro essencialmente Sin-D3 associado à convergência oblíqua durante o encurtamento orogénico. Esta fase, inclusivamente expressa à escala Megascópica considerando o conjunto da ZOM, sobrepõem-se às dobras e carreamentos sin-D1 associadas ao encurtamento Crustal (Díez Fernández & Arenas, 2015; Díez Fernández *et al.*, 2017) e, nalguns casos, às estruturas extensionais sin-D2 relacionadas com o colapso orogénico (Pereira *et al.*, 2009; 2012).

Uma das grandes complexidades do sistema ZOM reside no facto das estruturas D2-D3 obliterarem quase por completo as estruturas D1 associadas a uma tectónica de carreamentos sin-subdução, muitas vezes expressa apenas nas relíquias de metamorfismo de Alta Pressão, ou em padrões cartográficos de interferência que sugerem a sobreposição de estruturas D2-D3 sobre sequências tectónicas de primeira fase essencialmente representadas por dobras de plano axial pouco inclinado ou grandes dobras recumbentes que representam a instalação de «nappes» para o quadrante Norte (Fase D1 regional – Araújo, 1995, Araújo & Ribeiro, 1997, Araújo *et al.*, 2005).

2.4 Região de Viana do Alentejo

A área em estudo situa-se imediatamente a E da povoação de Viana do Alentejo, a cerca de 20 km da cidade de Évora, tendo a amostragem sido feita entre as localidades de Oriola, Odivelas, S. Bartolomeu do Outeiro e Viana do Alentejo. Do ponto de vista geológico, a área estudada enquadra-se no sector Montemor-Ficalho da ZOM, sendo este limitado a N pelo carreamento de Santo Aleixo da Restauração e a S pelo Maciço de Beja e os antiformas de Serpa e Viana do Alentejo (Araújo *et al.*, 2013). Em termos litológicos, Rosas (2003) definiu quatro unidades tectono-estratigráficas para o sector Alvito-Viana do Alentejo: a Unidade dos gnaisses de Viana do Alentejo; a Unidade dos mármore de Viana do Alentejo; a Unidade dos metassedimentos de Água de Peixe; e a Unidade dos metassedimentos do Monte das Pereiras (“Xistos de Moura”). Esta divisão em unidades tectono-estratigráficas, ao invés de formações litostatrigráficas como havia sido feito previamente (e.g. Carvalhosa, 1972a), deveu-se essencialmente à falta de dados paleontológicos e/ou geocronológicos, sendo a divisão em tectono-estratigráficas baseada na coerência litológica e tectónica das mesmas.

A Unidade dos metassedimentos de Águas de Peixe, equivalente à “Formação da Série Negra de Águas de Peixe”, contém metassedimentos pelíticos, siliciosos e carbonatados, bem como metabasitos e rochas quartzo-feldspáticas, encontrando-se todos estes litótipos intensamente deformados (Rosas, 2003). É atribuída a esta unidade uma idade Pré-Câmbrica superior, através de correlações litológicas com formações equivalentes presentes na porção espanhola da ZOM (Ordóñez Casado, 1998). Por sua vez, dados geocronológicos obtidos na Formação do Escoural, equivalente à Formação de Águas de Peixe, indicam uma idade máxima de deposição entre 578 e 560 Ma (Chichorro, 2006; Pereira *et al.*, 2008).

A Unidade dos gnaisses de Viana do Alentejo é constituída por gnaisses quartzo-feldspáticos, com presença acessória de micas, nos quais é visível, macroscopicamente um *fabric* plano-linear. Estes gnaisses foram designados por Carvalhosa (1983b) como “leptinitos da Serra de Viana”, tendo sido

incluídos por este autor na Formação a que este designa de “Série Negra de Águas de Peixe”, à qual é atribuída uma idade Pré-Câmbrica. Por sua vez, Fonseca (1995) classifica estas rochas como “gnaisses félsicos do tipo I”, incorporando-as naquilo a que este autor designa como “Unidade de gnaisses félsicos de Alvito-Vila Nova de Baronia-Viana do Alentejo”.

Em seguida, sobreposta à unidade dos gnaisses, ocorre a Unidade dos mármore de Viana do Alentejo. Esta é composta maioritariamente por mármore e dolomias, cortados por vários filões de natureza essencialmente básica, ocorrendo também ocasionais intercalações de rochas ácidas, skarns e rochas calco-silicatadas. A estes mármore foi atribuída uma idade Câmbrica inferior (Carvalhosa, 1972; Teixeira, 1981; Oliveira *et al.*, 1991). No entanto, existe um elevado grau de incerteza associado a esta idade, uma vez que esta se baseia em correlações litológicas com outras formações carbonatadas da ZOM em Espanha, tais como as rochas calcárias câmbricas da serra de Córdova onde se observam diversas espécies de *Archaeocyathus*, típicas de faunas do Câmbrico inferior (Teixeira, 1981).

Por último, a Unidade dos metassedimentos do Monte das Pereiras é considerada como o correspondente local à “Formação dos Xistos de Moura” (Carvalhosa, 1983b; Oliveira *et al.*, 1991), sendo esta a formação em que as rochas vulcânicas (máficas e félsicas) e metassedimentares estudadas nesta tese se encontram inseridas. A “Formação dos Xistos de Moura”, também designada como Xistos de Moura ou Complexo Filonítico de Moura (Araújo *et al.*, 2005; Araújo, 1995), é composta essencialmente por micaxistos imbricados, ricos em clorite, sericite e quartzo, com frequentes intercalações de rochas vulcânicas ácidas e básicas, com poucos lilitos, xistos negros e raros níveis carbonatados (Araújo *et al.*, 2005; 2013). Toda esta sequência se encontra fortemente deformada, mostrando alguns níveis de rochas metamórficas de alta pressão, nomeadamente xistos azuis e eclogitos (Fonseca *et al.*, 1999).

A Formação dos Xistos de Moura é interpretada como um complexo acrecionário gerado durante a colisão varisca (Araújo *et al.*, 2005), sendo-lhe atribuída uma idade Ordovícica Superior a Devónica (Piçarra, 2000), devido à presença de graptólitos. No entanto, estudos geoquímicos e estratigráficos recentes, apoiados por dados geocronológicos U-Pb em zircão realizados em domínios adjacentes, sugerem que os representantes metassedimentares e metavulcânicos de Viana do Alentejo podem ser incluídos nas sucessões do Paleozóico Inferior, estando integradas na Cintura Metamórfica de Évora-Aracena (Chichorro, 2006). A confirmar-se essa possibilidade, tal implicaria que a sequência em estudo apresentaria outro enquadramento geodinâmico ao que normalmente lhe tem vindo a ser atribuído. O complexo vulcano-sedimentar do Paleozóico Inferior, descrito inicialmente por Carvalhosa & Zbyszewski (1994), compreende uma sucessão de rochas vulcânicas máficas e félsicas, associadas a sequências sedimentares clásticas e carbonatadas, deformadas e metamorfizadas de forma variável durante a Orogenia Varisca, assentando de forma discordante sobre a sucessão metassedimentar Ediacárica (Série Negra - SN). Tal discordância marca a cessação de um período de intensa deformação e magmatismo associado à Orogenia Cadomiana e o início do *rifting* Cambro-Ordovícico (Quesada, 2006), estando amplamente descrita nos vários sectores da ZOM. No entanto, no Sector de Montemor-Ficalho esta encontra-se cartograficamente críptica devido à intensa deformação Varisca.

Esta tese de mestrado tem como objetivo, entre outros, contribuir para averiguar se a região de Viana do Alentejo-Oriola-Serpa grava efetivamente uma lito-cronostratigrafia representativa da mudança de ambiente de arco no Ediacárico para formações vulcano-sedimentares do Paleozóico Inferior concomitantes com o desenvolvimento progressivo de bacias sedimentares numa crosta continental em distensão e com o magmatismo a sublinhar a transição de mecanismos de fusão cortical com influência progressiva do manto, tal como Chichorro (2006) propõe.

3 Metodologias

3.1 Trabalho de Campo

Foi realizada uma campanha de amostragem com a duração de 2 dias, na qual se colheu um total de 25 amostras, ao longo de 16 afloramentos da região de Viana do Alentejo (Fig. 3.1). As amostras PMT-1, PMT-2, PMT-6, PMT-7 e PMT-9 foram colhidas ao longo da estrada (estrada Nacional 384) que liga Viana do Alentejo a Portel, a N da albufeira do Alvito. As amostras PMT-3 a 5 foram colhidas na estrada que, a partir da M522, dá acesso à parte Sul da povoação de São Bartolomeu do Outeiro. As amostras PMT-10 e 11 foram obtidas imediatamente a NW desta povoação. Todas estas amostras fazem parte da estrutura de Oriola situada entre as estruturas de Viana do Alentejo e o antiforma de Portel-São Lourenço. As amostras com referência PMT-8 proveem de um sector imediatamente a leste da albufeira do Alvito e localizam-se no sector periclinal da estrutura de Oriola. As amostras PMT-12 a 16 foram colhidas ao longo da estrada que dá acesso à barragem do Alvito, perto de Albergaria dos Fusos, e localizam-se num sector entre a estrutura de Viana do Alentejo e a estrutura de Oriola. Por fim, a amostra PMT-17 foi colhida no flanco NE do periclinal da Estrutura de Portel-São Lourenço.

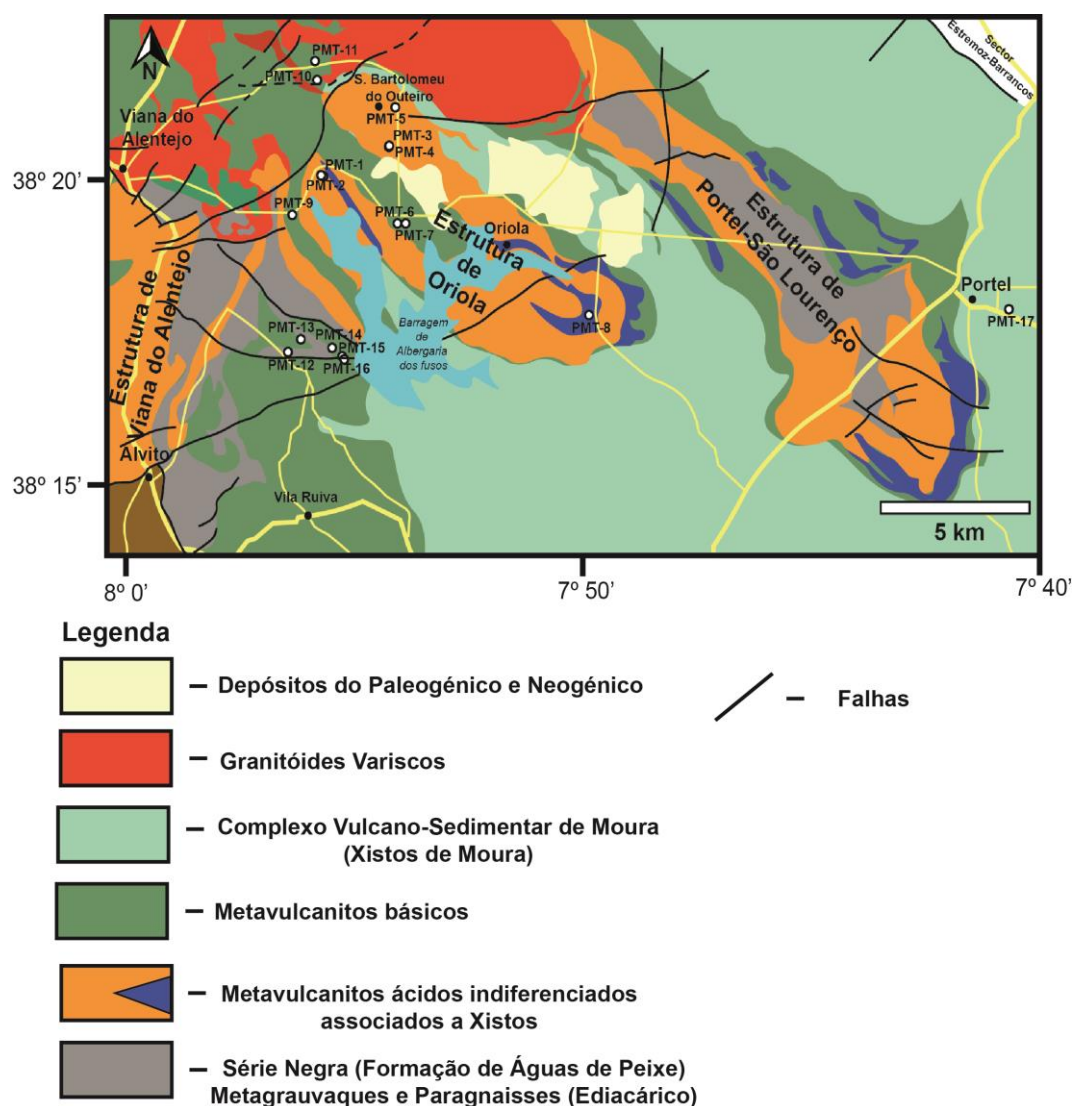


Figura 3.1 - Mapa com a localização das amostras colhidas. Adaptado a partir das folhas 40-C (Viana do Alentejo; Carvalhosa, 1972b) e 40-D (Portel; Carvalhosa, 1967), à escala 1/50 000.

3.2 Métodos Laboratoriais

As amostras colhidas na região de Viana do Alentejo foram preparadas para todas as tipologias de análise no DG-FCUL - Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, tendo as lâminas polidas sido produzidas no LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

Os dados de química mineral foram obtidos através da análise das suas secções polidas, previamente metalizadas, com recurso à microsonda eletrónica JEOL JXA 8200 do DG-FCUL. Os vários minerais analisados foram sujeitos a um potencial de aceleração de 15 kv, em corrente de emissão de 25 nA e com um diâmetro de feixe de 5 μm , tendo a calibração sido feita mediante padrões naturais. As contagens iniciais foram corrigidas de modo automático, através do método ZAF.

As análises geoquímicas de rocha total foram realizadas pelo Activation Laboratories (Ontário, Canadá), utilizando procedimentos padronizados para análise de ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) dos elementos maiores e ICP-MS dos elementos traço. Este último método a separação os átomos ou iões baseia-se na razão massa-carga, à medida que para o método ICP-OES a dissociação dos átomos baseia-se unicamente na excitação dos mesmos.

As composições isotópicas de rocha total Rb-Sr e Sm-Nd foram determinadas usando um espectrómetro de massa Triton + Thermo-scientific no laboratório Géosciences Environnement Toulouse - Observatoire Midi-Pyrénées (GET-OMP), em Toulouse, França, seguindo procedimentos descritos por Li *et al.* (2011, 2012). O procedimento para cada amostra consistiu na dissolução de cerca de 100 mg de pó total de rocha com uma mistura HF / HNO₃ 1: 1. Após a dissolução, a amostra foi diluída em 5 ml de HNO₃ a 2%, sendo retirada parte da solução para análise no ICP-MS Element XR, a fim de obter as relações precisas ⁸⁷Rb/⁸⁶Sr e ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd. A restante porção foi seca e o Nd / Sr foram extraídos da matriz utilizando uma combinação de resinas Sr-Spec e Thru-spec Eichrom. A mistura de Sr e REE foi posteriormente carregada num filamento de Re, sendo corridos sequencialmente (primeiro Sr e depois Nd), utilizando um protocolo de filamento duplo em Re. A monitorização das interferências de ⁸⁷Rb e ¹⁴⁴Sm foi realizada de acordo com o protocolo de Li *et al.* (2012) e a qualidade e reprodutibilidade das medições foram controladas usando uma medida sequencial dos padrões isotópicos (NBS 987 e La Jolla), padrões isotópicos dopados (NBS 987+ Rb e La Jolla + Sm) e Sr + REE artificial. As reprodutibilidades dos padrões foram 0,510845 +/- 6 (n = 13) para La Jolla e 0,710279 +/- 8 (n = 15) para NBS-987 (puro e dopado), estando dentro dos valores recomendados. Os brancos medidos foram 54 pg para Nd e 58 pg para as razões isotópicas de Sr. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd foram normalizados contra ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr = 0,1494 e ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd = 0,7219, respetivamente, após correções de interferências isobáricas usando ⁸⁷Rb/⁸⁵Sr = 0,387041 em ⁸⁷Sr e combinação de ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁹Sm = 1,08583 e ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Sm = 4,87090 em ¹⁴⁴Nd. Os valores das razões ¹⁴⁵Nd/¹⁴⁴Nd são dados a fim de ilustrar as correções precisas das interferências isobáricas de Sm.

4 Descrição Macroscópica

Tal como foi referido no capítulo anterior, durante a campanha de campo foram recolhidas 25 amostras. Estas foram subdivididas, com base em critérios de campo, em 4 grupos: rochas metabásicas, rochas metafélicas, rochas metassedimentares e rochas calco-silicatadas. A atribuição de cada uma das amostras a um destes grupos basou-se essencialmente na sua cor (escura ou clara), granularidade, observação de um bandado composicional (no caso das amostras calco-silicatadas) ou de uma xistosidade acentuada (nas amostras metassedimentares) e identificação de alguma fase mineral típica de uma destas litologias (e.g. presença de epídoto em amostras metabásicas).

O grupo das rochas metabásicas, composto pelas amostras PMT-4, PMT-6, PMT-7, PMT-8C, PMT-11, PMT-12B, PMT-14, PMT-15 e PMT-16, caracteriza-se por apresentarem uma tonalidade escura (melanocratas), ligeiramente azulada. Estas rochas apresentam também uma granularidade fina, observando-se ocasionalmente pequenos cristais esbranquiçados, com brilho vítreo, correspondentes a feldspatos (e.g. amostra PMT-11). Em algumas amostras, nomeadamente as amostras PMT-6 (Fig. 4.1A), PMT-8C e PMT-16, observam-se também a presença de fases minerais esverdeadas (possivelmente epídoto), de granularidade fina, nas quais se observa uma orientação muito ténue. Na amostra PMT-4 também se observam fases minerais esverdeadas, no entanto, estas não evidenciam qualquer orientação preferencial.

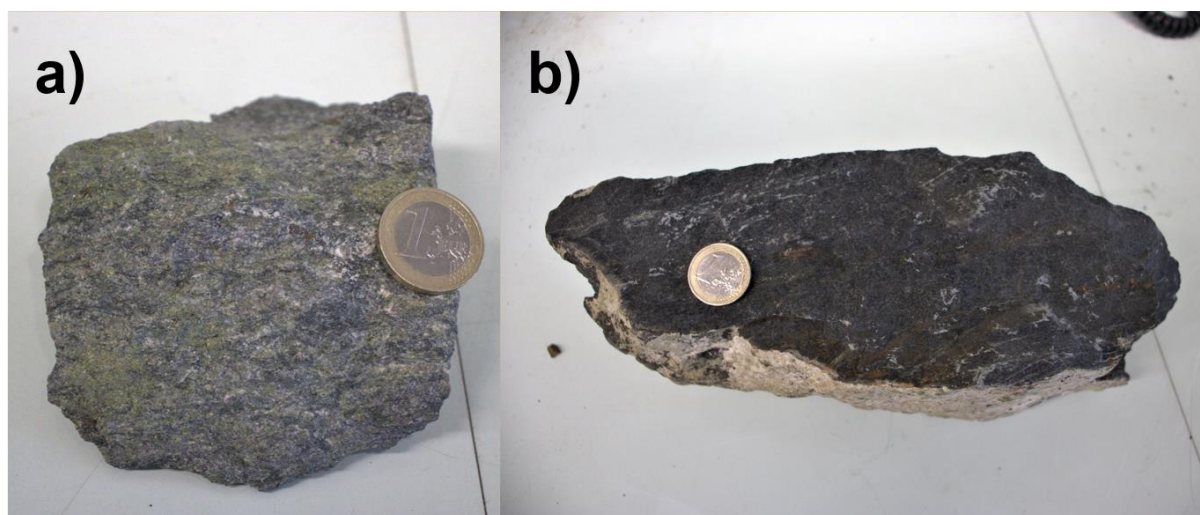


Figura 4.1 - Exemplos de amostras metabásicas. A- Amostra PMT-6, apresentando fases minerais esverdeadas. B- Amostra PMT-11, denotando uma tonalidade mais escura, apresentando ocasionais cristais esbranquiçados (feldspato).

As amostras félicas apresentam tonalidades claras (leucocratas), apresentando um tom ligeiramente rosado na amostra PMT-1. Todas as amostras apresentam granularidade fina, destacando-se, em termos texturais, as amostras PMT-1 e PMT-2, uma vez que evidenciam uma maior abundância de micas, as quais denotam uma clara orientação preferencial (Fig.4.2A). Por sua vez, também a amostra PMT-12A se destaca por apresentar uma abundante alteração cloritica, tipicamente ao longo de filonetes (Fig.4.2B).

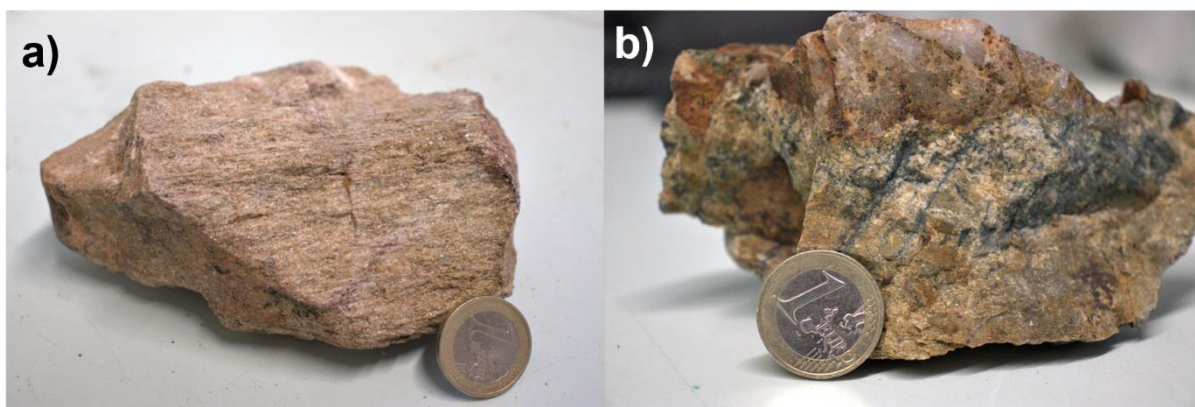


Figura 4.2 – Exemplos de amostras metafélicas. A - Amostra PMT-1, denotando uma orientação preferencial das moscovites. B - Amostra PMT-12A, apresentando vários filonetes cloríticos.

O grupo de rochas metassedimentares, no qual se inserem as amostras PMT-8A, PMT-8B, PMT-8D e PMT-10, caracterizam-se essencialmente por apresentarem uma xistosidade marcada, a qual apresenta um espaçamento entre planos muito fino na amostra PMT-8B e ligeiramente mais grosseira na amostra PMT-8D. Por sua vez, a amostra PMT-10 denota uma xistosidade muito grosseira, sendo tal devido a uma grande abundância de quartzo na amostra. No que respeita à coloração, a amostra PMT-10 apresenta um tom negro, por vezes acastanhado, enquanto as amostras PMT-8A, PMT-8B e PMT-8D apresentam um tom mais claro, variando entre o castanho claro e o cinzento. Esta coloração mais clara, bem como o brilho anacarado pelas porções acinzentadas destas amostras, especialmente evidente na amostra PMT-8B (Fig.4.3A), resultam de uma maior abundância de micas, nomeadamente de moscovite.

Por último, as amostras calco-silicatadas, correspondentes às amostras PMT-9 (A a E), caracterizam-se por apresentarem um bandado composicional bem acentuado, com bandas de cor escura, tipicamente azuladas, e bandas de cor clara de dimensão milimétrica. Estas amostras apresentam também frequentes veios, de dimensão centimétrica a decimétrica, de granada maciça, os quais são limitados por mineralizações verdes, correspondentes a epídoto (Fig.4.3B).

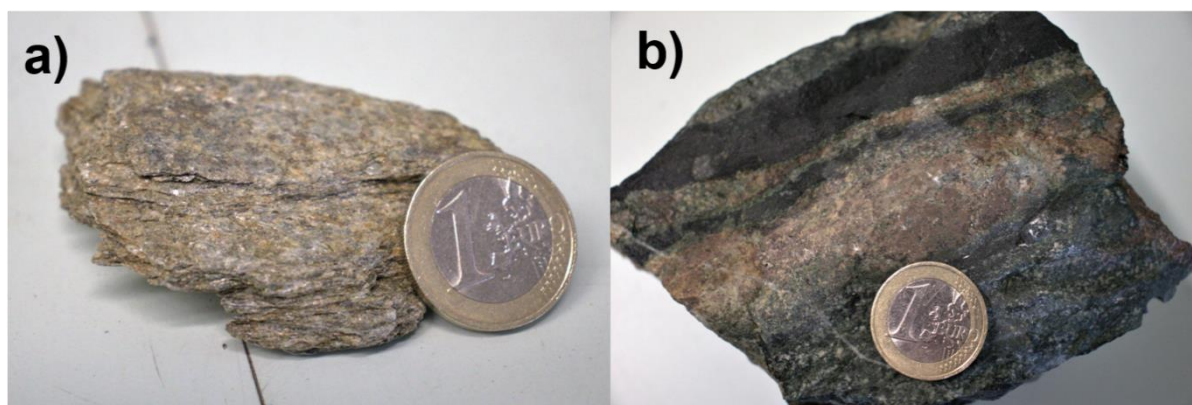


Figura 4.3 – A - Amostra metassedimentar PMT-8B, apresentando um brilho anacarado devido a abundância de moscovite. B - Amostra calco-silicatada PMT-9C, com epídoto a rodear um veio de granada.

5 Petrografia

Tal como foi referido no capítulo anterior, todas as amostras colhidas foram divididas inicialmente em 4 grupos (Rochas Metabásicas, Rochas Metafélsicas, Rochas Metassedimentares e Rochas Calco-Silicatadas) com base em critérios de campo. Contudo, após a observação, e consequente análise petrográfica, destas amostras, decidiu-se incorporar as amostras calco-silicatadas no grupo das rochas metabásicas, dada a sua semelhança mineralógica. A justificação para esta decisão encontra-se referida neste capítulo e na Discussão (ver adiante). Assim sendo, passou-se a ter 3 grupos litológicos principais em estudo, sendo as suas características petrográficas descritas nos parágrafos que se seguem.

5.1 Rochas Metafélsicas

As amostras de Oriola (PMT-1 e PMT-2) apresentam uma textura que varia entre granolepidoblástica a granoblástica, consoante as porções da lâmina. Os filossilicatos (moscovite e biotite) destas amostras tendem a ocorrer segundo uma direção preferencial, sendo que na amostra PMT-1 estes formam finas camadas que envolvem as porções quartzosas da amostra, gerando assim uma foliação grosseira (Fig.5.1A).

Por sua vez, as restantes amostras metafélsicas (PMT-3, PMT-5 e PMT-12A) apresentam texturas granoblásticas. À semelhança das amostras PMT-1 e PMT-2, o quartzo é mineral mais abundante. No entanto, contrariamente ao observado nas amostras de Oriola, as micas ocorrem em muito baixa abundância, sendo por vezes quase vestigiais.

Em todas as amostras metafélsicas identificaram-se também fases minerais acessórias de feldspato (tipicamente plagioclase), rútilo, zircão e opacos. A amostra PMT-12A apresentam também veios de clorite bastante fina (Fig.5.1B), provavelmente gerados numa fase tardia por circulação de fluidos metassomáticos.

Assim sendo, do ponto de vista petrológico, as amostras metafélsicas, embora apresentem uma composição mineralógica praticamente igual em todas as amostras, podem ser divididas em 2 grupos, um constituído pelas amostras PMT-1 e PMT-2 e outro pelas amostras PMT-3, PMT-5 e PMT-12A. Tal divisão baseia-se no facto de as amostras PMT-1 e PMT-2 apresentarem uma abundância de micas orientadas significativamente superior às restantes amostras, quase exclusivamente quartzosas.

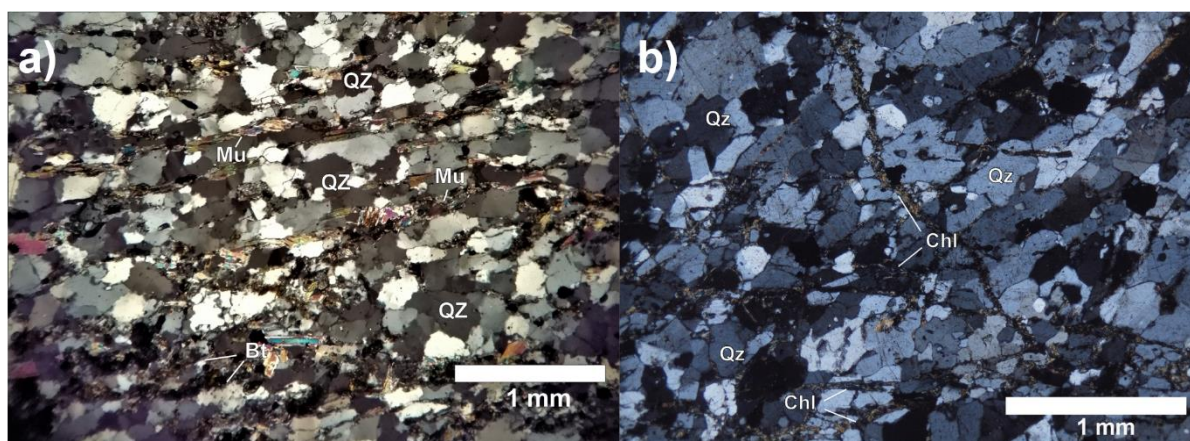


Figura 5.1 – Aspeto petrográfico das amostras metafélsicas. A - Finas camadas de moscovite e biotite envolvendo as porções quartzosas na amostra PMT-1. B - Filonetes de clorite a cortar a matriz quartzosa da amostra PMT-12A.

5.2 Rochas Metabásicas

Para as amostras metabásicas foi possível distinguir 2 grupos distintos: o grupo dos xistos verdes e o grupo dos anfibolitos. Tal distinção tem por base diferenças mineralógicas, nomeadamente a proporção e tipologia de anfíbola, mas também a ocasional ocorrência de piroxena, e por vezes também de granada, nas amostras classificadas como anfibolitos. É importante referir que as amostras previamente classificadas como calco-silicatadas foram incorporadas no grupo de amostras básicas, dada à grande semelhança mineralógica e textural entre estas amostras quando visualizadas ao microscópio.

O grupo dos xistos verdes é composto pelas amostras PMT-8C, PMT-9B, PMT-12B, PMT-14, PMT-15 e PMT-16, apresentando uma textura essencialmente nematoblástica, com a anfíbola a ser, consequentemente, o mineral mais abundante. A anfíbola apresenta tipicamente uma granularidade relativamente fina, com cor verde a castanho quase incolor e com hábito tabular fino ou por vezes acicular (tremolite-actinolite), formando um padrão anastomosado em volta dos cristais de feldspato (Fig.5.2A). A amostra PMT-16 é a única dos xistos verdes que apresenta uma textura granoblástica, devido ao hábito tabular mais grosseiro e maior abundância de feldspato comparativamente aos restantes xistos verdes.

Na amostra PMT-15, a anfíbola encontra-se frequentemente retrogradada para clorite, sendo tal evidenciado pelas tintas anómalas castanhas observadas ao longo da lâmina. Esta alteração das anfíbolas para clorites é também observada na amostra PMT-14, ainda que em menor quantidade (Fig.5.2B), sendo o provável resultado da circulação tardia de fluidos. Na amostra PMT-8C também se observa frequentemente clorite a rodear as anfíbolas (Fig.5.2D). No entanto, esta apresenta tons esverdeados, sendo provavelmente primária e associada ao processo metamórfico principal.

Para além de feldspato e anfíbola, os xistos verdes estudados apresentam também frequentes cristais de epidoto, sendo este particularmente abundante na amostra PMT-16 (Fig. 5.2C), e ocasionalmente de titanite e minerais opacos.

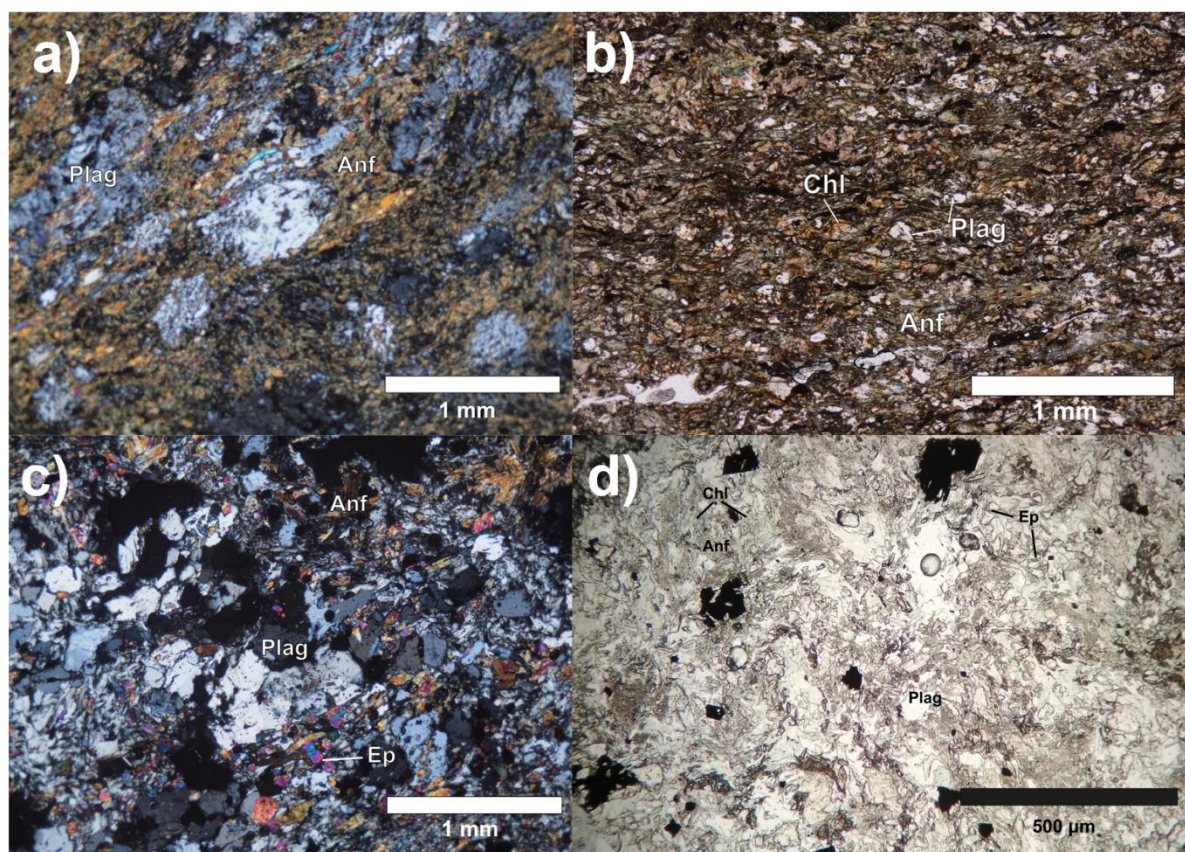


Figura 5.2 – *Aspeto petrográfico dos Xistos Verdes. A - Textura anastomosada, com a anfíbola a envolver os cristais de feldspato na amostra PMT-9B. B - Foliação mais acentuada na amostra PMT-15, com frequente alteração da anfíbola para clorite. C - Aspeto granoblástico da amostra PMT-16, com epidoto abundante. D - Clorite metamórfica a rodear anfíbola na amostra PMT-8C.*

Por sua vez, o grupo dos anfibolitos pode ser subdividido em 2 subgrupos: os anfibolitos sem granada (PMT-6, PMT-7 e PMT-11) e os anfibolitos com granada (PMT-4, PMT-9C e PMT-9E).

Os anfibolitos sem granada apresentam uma textura que varia desde nematoblástica na amostra PMT-11, com a anfíbola a dominar por completo a amostra, a granoblástica na amostra PMT-7, com a amostra PMT-6 a corresponder a um caso intermédio, denotando-se uma orientação muito ténue. Para além de anfíbola, de longe o mineral mais abundante, estas amostras apresentam também feldspato e piroxena, com esta última a ser particularmente abundante na amostra PMT-7 (Fig.5.3A). No caso das amostras PMT-6 e PMT-7 verifica-se também a presença de calcite, dispersa de forma heterogénea pelas lâminas, enquanto tal não se verifica na amostra PMT-11. Uma outra diferença entre a amostra PMT-11 e as amostras PMT-6 e PMT-7 está na anfíbola, uma vez que a anfíbola presente na amostra PMT-11 corresponde a hornblenda (Fig.5.3B), enquanto nas amostras PMT-6 e PMT-7 esta corresponde a actinolite-tremolite.

Os anfibolitos com granada apresentam uma textura granoblástica a grano-porfioblástica (na amostra PMT-4), com uma matriz fina de anfíbola e feldspato. Do ponto de vista mineralógico, estas amostras são bastante semelhantes aos anfibolitos sem granada PMT-6 e PMT-7, apresentando também (para além da anfíbola e feldspato já referidos) piroxena, calcite e algum epidoto. Assim sendo a principal diferença mineralógica que distingue os 2 grupos de anfibolitos é exclusivamente a presença de granada.

Na amostra PMT-4 as granadas apresentam dimensões médias a grandes, sendo por vezes euédricas. Estas granadas encontram-se frequentemente rodeadas por calcite (Fig.5.3C), estando tipicamente intactas. No entanto, verifica-se que ocasionalmente observam-se granadas com inclusões dos minerais da matriz, apresentando textura poiquiloblástica. No caso das granadas das amostras PMT-9C e PMT-9E, estas apresentam um hábito muito mais irregular, estando estas frequentemente rodeadas por epidoto (Fig.5.3D), gerando assim halos de substituição. Estas granadas apresentam também uma coloração ligeiramente esverdeada.

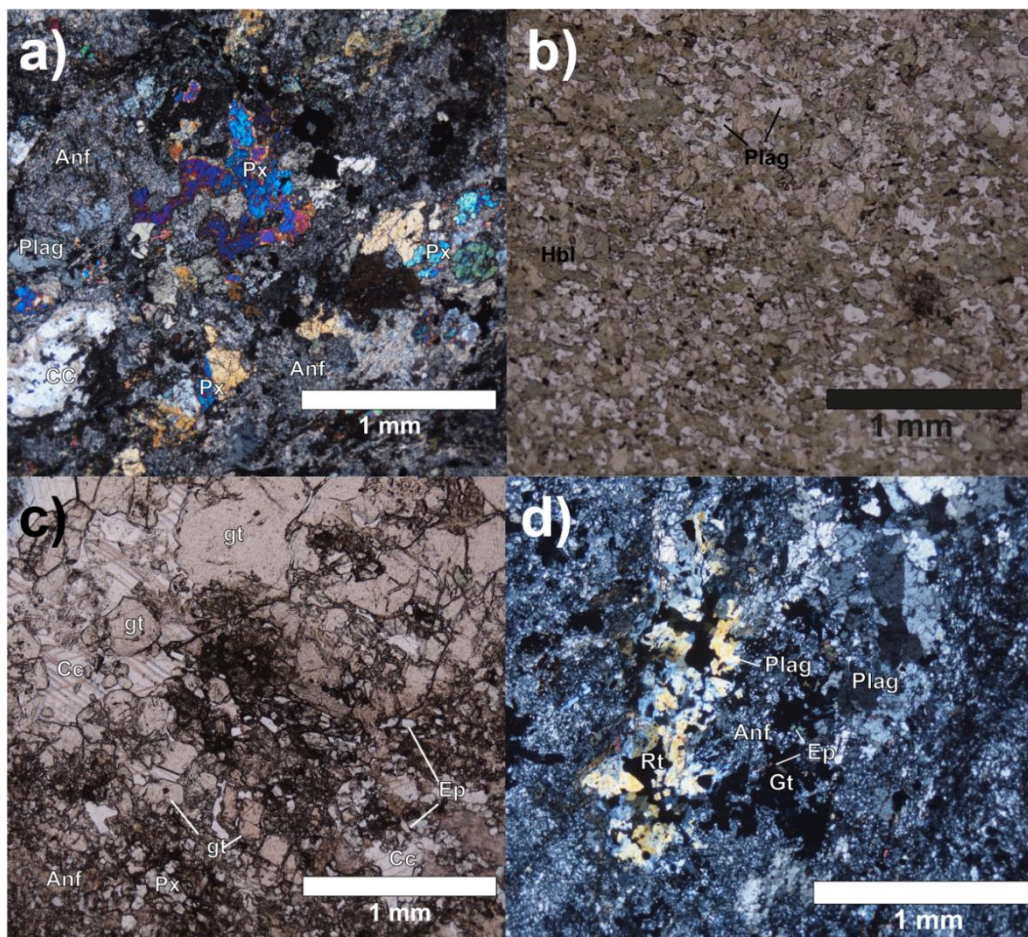


Figura 5.3 – Aspeto petrológico dos anfibolitos. A - Piroxena abundante na amostra PMT-7. B - Predominância de hornblenda na amostra PMT-11. C - Granadas rodeadas por calcite na amostra PMT-4. D - Granada rodeada por epidoto na amostra PMT-9C.

5.3 Rochas metassedimentares (Xistos)

As rochas metassedimentares estudadas apresentam texturas que variam de lepidoblásticas a granolepidoblásticas. A amostra PMT-10 é a mais quartzosa dos xistos em estudo, apresentando 2 gerações de quartzo, uma mais fina presente na matriz, e outra grosseira, que ocorre ao longo de veios milimétricos tardios. É juntamente com o quartzo mais fino, e algum feldspato, que ocorre a maioria dos filossilicatos (biotite e moscovite), ocorrendo também por vezes a limitar as porções mais grosseiras. Nesta

amostra confirmou-se também a presença de andaluzite (Fig. 5.4B) e cordierite, que aparentam ter-se formado em cima da matriz, bem como de pequenos óxidos, que se assemelham a rútilo.

Por sua vez, as amostras PMT-8B e PMT-8D apresentam uma maior abundância em filossilicatos (essencialmente moscovite e alguma biotite), sendo esta a fase mineral dominante, contrariamente ao que se verifica na amostra PMT-10. No caso da amostra PMT-8D observa-se uma textura lepidoblástica, com a presença de quartzo a ser praticamente vestigial. Mais de 90% desta amostra é constituído por moscovite, observando-se também alguma biotite e clorite de alteração. A granularidade da moscovite é muito fina, apresentando-se esta fortemente orientada, gerando assim uma clivagem (“*slate clivage*”) evidente, bem como clivagem de crenulação.

A amostra PMT-8B apresenta uma maior abundância de quartzo comparativamente à amostra PMT-8D, mas menor que na PMT-10. Nesta amostra é possível distinguir porções mais granoblásticas, ricas em quartzo, e porções lepidoblásticas, sendo a moscovite a mica mais abundante. Tal como na amostra PMT-8D, observa-se ocasionalmente alguma clivagem de crenulação (Fig.5.4A).

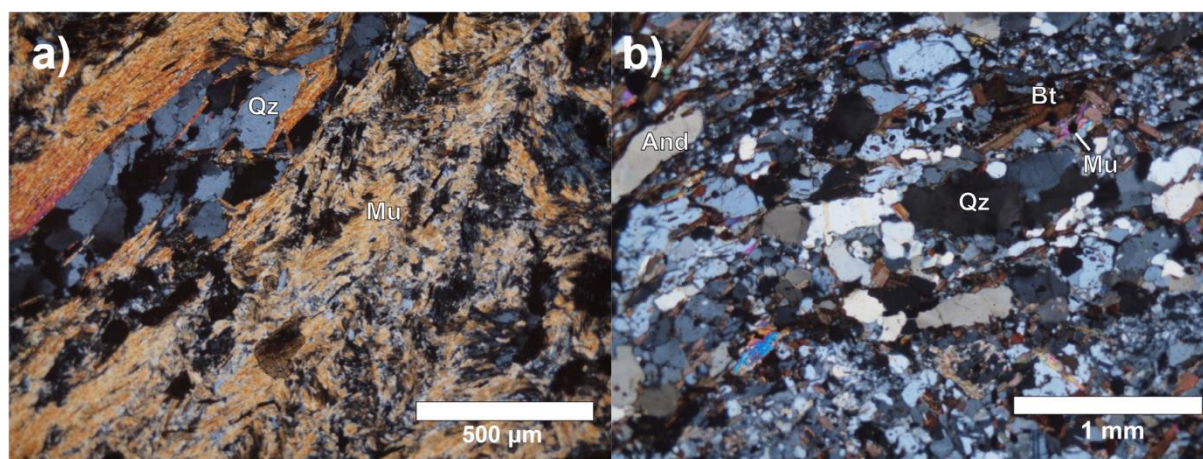


Figura 5.4 - Aspeto petrográfico das amostras metassedimentares. A - Clivagem de crenulação na moscovite da amostra PMT-8B. B - Aspeto mais quartzoso da amostra PMT-10, apresentando também alguma andaluzite.

6 Química Mineral

6.1 Feldspatos

As análises de feldspatos foram divididas em 3 diagramas distintos, um para cada grupo litológico principal (Rochas Metabásicas, Rochas Metafélicas e Rochas Metassedimentares), de modo a facilitar a sua observação e, conseqüentemente, permitir um melhor análise e comparação das várias amostras analisadas.

Nas amostras metabásicas (Fig.6.1), os feldspatos estudados correspondem essencialmente a plagioclases. Estas projetam-se maioritariamente nos campos da albite e anortoclase, apresentando valores de X_{An} entre 0.002 e 0.433. Para além destas composições, a amostra PMT-12B apresenta também plagioclases com composições andesínicas a oligoclásicas, apresentando valores de X_{An} entre 0.183 e 0.346, enquanto as amostras PMT-11 e PMT-14 apresentam também composições andesínicas, com valores de X_{An} entre 0.394 e 0.433 (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 - Frações molares de anortite, ortose e albite dos feldspatos das amostras metabásicas analisadas.

Amostra	PMT-4	PMT-6	PMT-7	PMT-11	PMT-12B	PMT-14	PMT-15	PMT-16
X_{An}	0.035	0.017	0.008	0.394	0.007	0.003	0.002	0.002
	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.083	0.068	0.092	0.428	0.346	0.433	0.070	0.011
X_{Or}	0.002	0.001	0.002	0.003	0.002	0.002	0.001	0.002
	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.110	0.130	0.181	0.005	0.196	0.090	0.283	0.005
X_{Ab}	0.851	0.802	0.744	0.569	0.521	0.548	0.653	0.984
	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.961	0.978	0.990	0.601	0.989	0.995	0.995	0.994

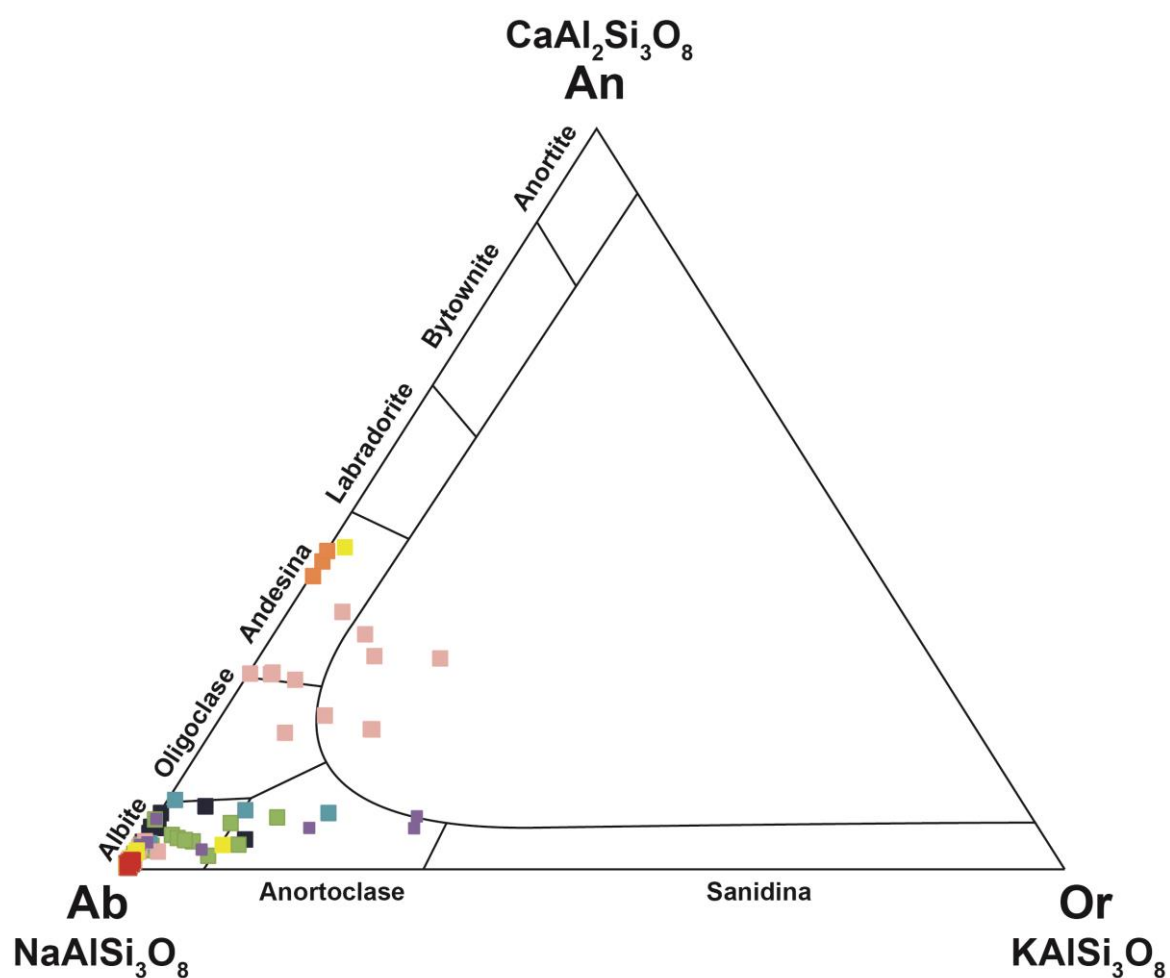


Figura 6.1 - Projeção das análises de feldspato das amostras metabásicas no diagrama Anortite-Albite-Ortose. PMT-4 (■), PMT-6 (■), PMT-7 (■), PMT-11 (■), PMT-12B (■), PMT-14 (■), PMT-15 (■), PMT-16 (■).

Para as amostras metafélicas (Fig.6.2) verifica-se que a amostra PMT-2 é predominantemente constituída por feldspatos alcalinos, apresentando valores de X_{Or} de 0.928 a 0.979. Já os feldspatos das amostras PMT-3 e PMT-12A correspondem a plagioclases fortemente enriquecidas em Na, apresentando valores de X_{Ab} entre 0.883 e 0.996 (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 - Frações molares de anortite, ortose e albite dos feldspatos das amostras metafélicas analisadas.

Amostra	PMT-2	PMT-3	PMT-12A
X_{An}	0.000 - 0.002	0.010 - 0.031	0.001 - 0.023
X_{Or}	0.928 - 0.979	0.002 - 0.003	0.002 - 0.006
X_{Ab}	0.021 - 0.071	0.966 - 0.988	0.974 - 0.996

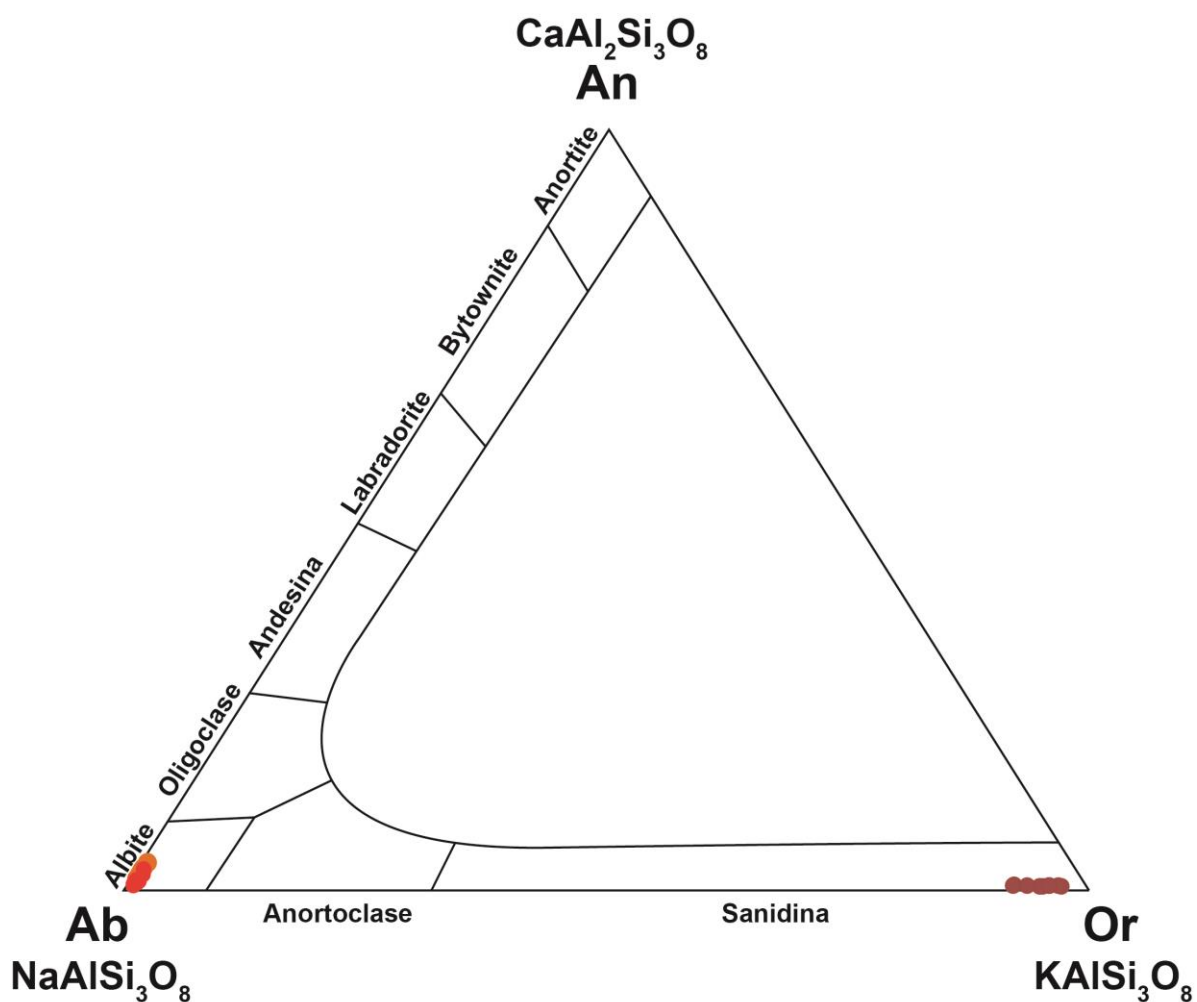


Figura 6.2 - Projeção das análises de feldspato das amostras metafélicas no diagrama Anortite-Albite-Ortose. PMT-2 (●), PMT-3 (●), PMT-12A (●).

No que respeita às amostras metassedimentares (Fig. 6.3), verifica-se que todos os feldspatos analisados da amostra PMT-8B correspondem a oligóclases, apresentando valores de X_{Ab} entre 0.820 e 0.892. Por sua vez, os feldspatos da amostra PMT-10 são essencialmente composta por feldspatos alcalinos, os quais apresentam valores de X_{Or} tipicamente acima de 0.89, com a exceção de uma análise que apresenta valores de X_{Or} de 0.36 (Tabela 6.3).

Tabela 6.3 - Frações molares de anortite, ortose e albite dos feldspatos das amostras metassedimentares analisadas.

Amostra	PMT-8B	PMT-10
X_{An}	0.103 - 0.176	0.000 - 0.002
X_{Or}	0.003 - 0.013	0.360 - 0.910
X_{Ab}	0.820 - 0.892	0.088 - 0.640

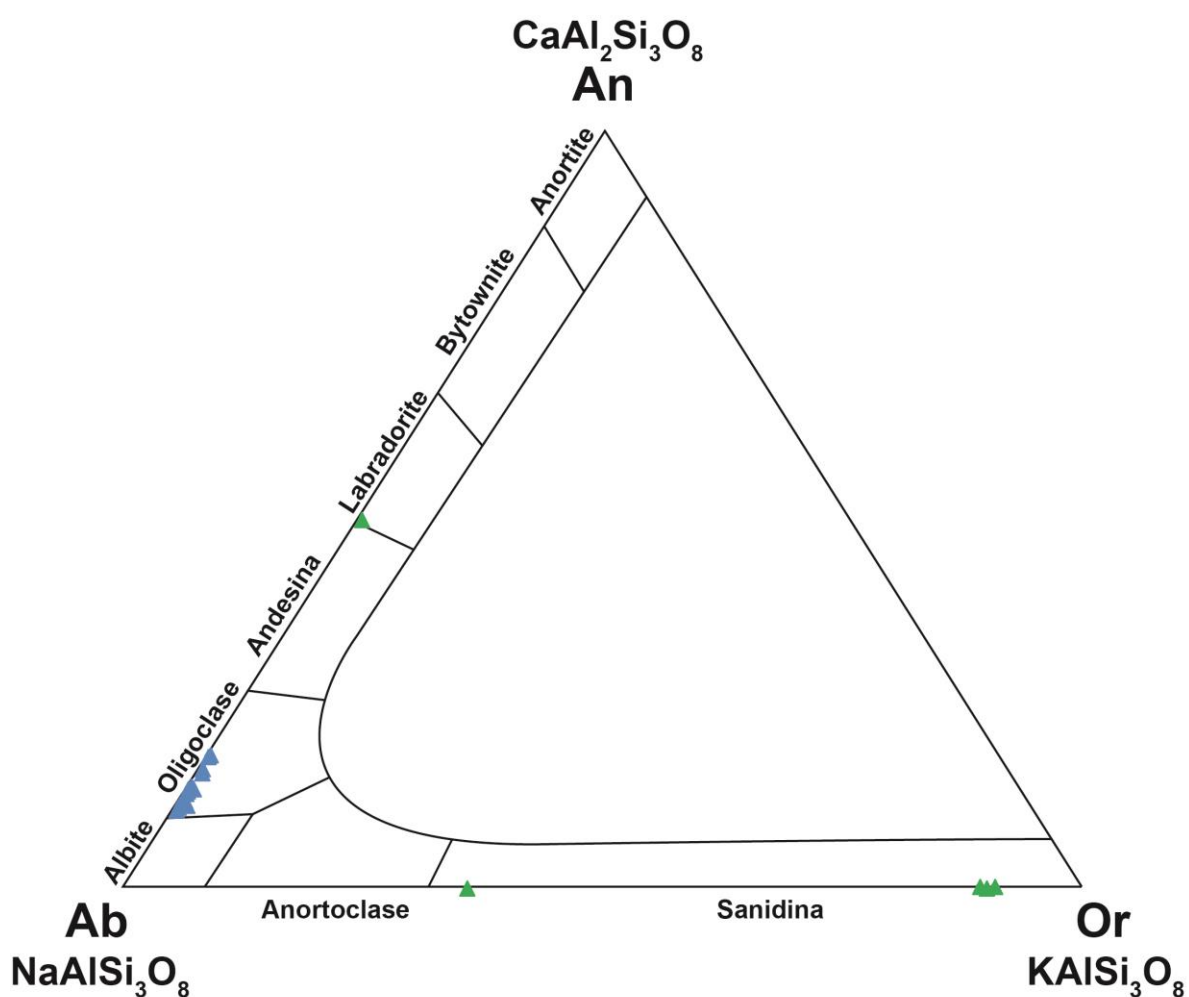


Figura 6.3 - Projeção das análises de feldspato das amostras metafélicas no diagrama Anortite-Albite-Ortose. PMT-8B (▲), PMT-10 (▲).

6.2 Anfíbola

As anfíbolas da região de Viana do Alentejo apresentam um forte enriquecimento em Ca. Como tal, as análises químicas desta fase mineral foram projetadas no diagrama para anfíbolas cálcicas de Locock (2014), tendo-se recorrido à folha de Excel deste mesmo autor.

No diagrama de Locock (2014; Fig. 6.4) é imediatamente notória uma tendência global das anfíbolas, variando estas entre os termos tremolite e magnésio-horneblenda. Esta tendência global deve-se essencialmente à tendência das amostras PMT-7, PMT-12B, PMT-14 e PMT-15 para variarem entre estes 2 termos, ainda que a amostra PMT-14 também apresente uma análise edenítica e outra tschermakítica. Por sua vez, todas as anfíbolas da amostra PMT-16 projetam-se exclusivamente no campo das tremolites, enquanto as anfíbolas da amostra PMT-11 correspondem unicamente a magnésio-horneblendas.

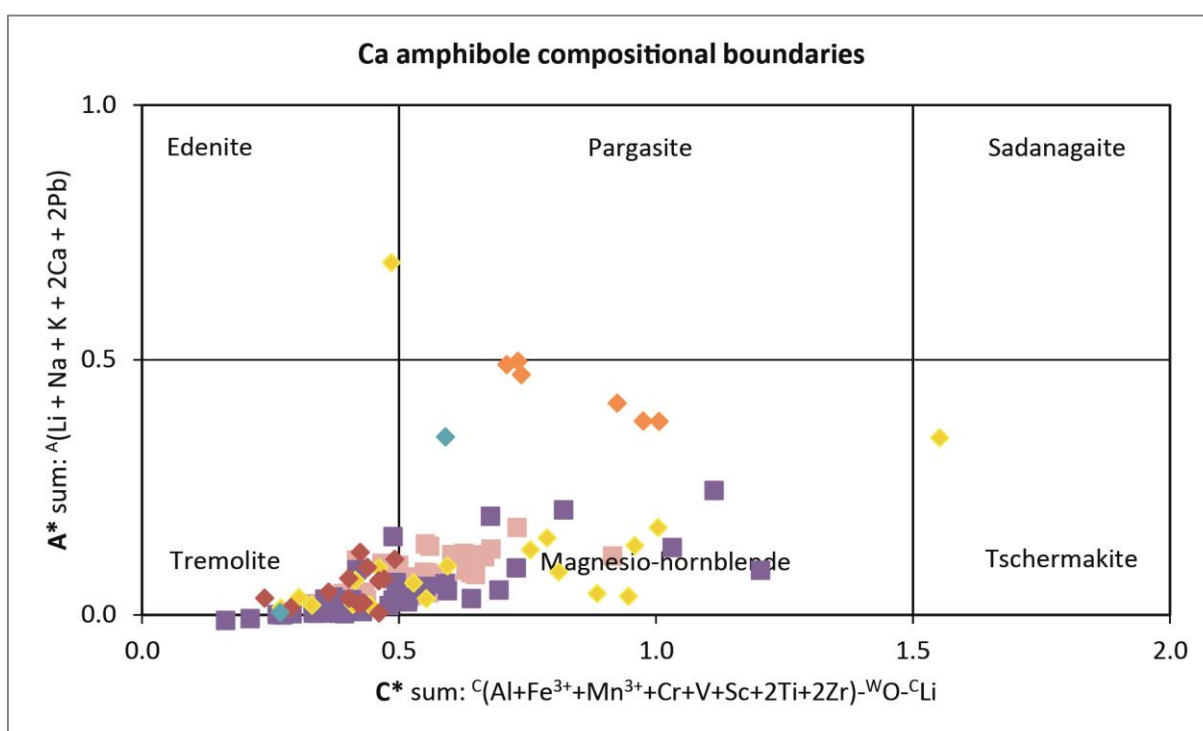


Figura 6.4 - Projeção das análises de anfíbolas das amostras metabásicas no diagrama das anfíbolas cálcicas de Locock (2014). Simbologia igual à da Fig. 6.1.

No entanto, ao se observar a projeção destas mesmas anfíbolas no diagrama para anfíbolas cálcicas de Leake *et al.* (1997; Fig. 6.5), o qual, ao contrário do diagrama de Locock, tem em conta Mg e Fe^{2+} , verifica-se que nenhuma das amostras analisadas chega a ter tremolite, uma vez que a razão $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ ($\#Mg$) não é suficientemente alta, correspondendo na verdade a actinolites. Neste diagrama é também possível verificar a existência de 2 tendências distintas. A amostra PMT-16 apresentam anfíbolas com razões $\#Mg$ acima de 0.75, enquanto as anfíbolas das restantes amostras apresentam razões $\#Mg$ tipicamente abaixo deste valor.

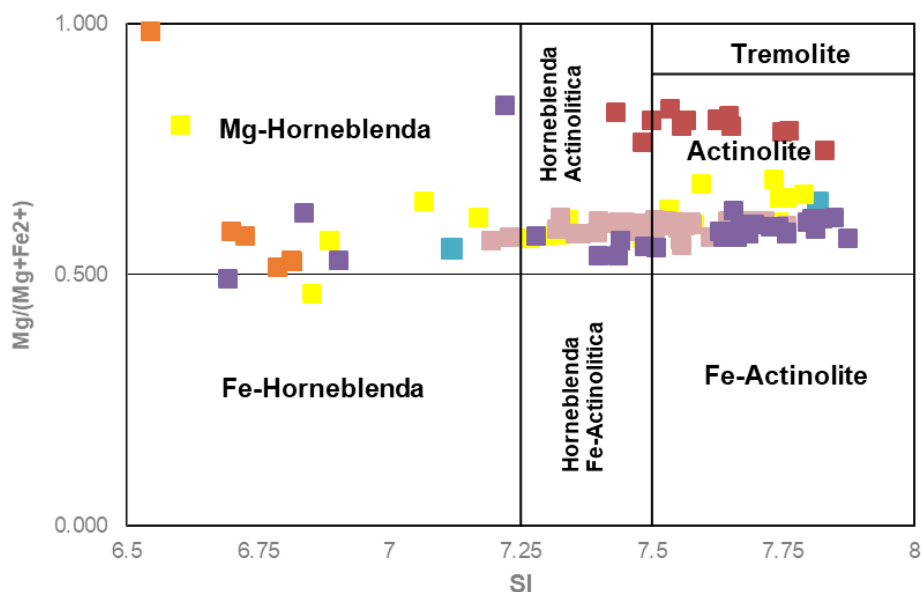


Figura 6.5 - Projeção das análises de anfíbolas das amostras metabásicas no diagrama Leake *et al.* (1997). Simbologia igual à da Fig. 6.1.

6.3 Piroxena

No capítulo da petrografia identificou-se a presença de piroxenas nas amostras PMT-4, PMT-6, PMT-7, PMT-9C, PMT-9E e PMT-11, tendo sido efetuadas análises químicas nas amostras PMT-4, PMT-6 e PMT-11. Estas análises foram subsequentemente projetadas no diagrama de Morimoto (1986) (Fig. 6.6), tendo sido possível verificar que as piroxenas estudadas correspondem quase exclusivamente a diópsidos, apresentando assim um forte enriquecimento em cálcio ($X_{\text{Wo}} = 0.408\text{-}0.518$) e um maior enriquecimento em Mg comparativamente ao Fe ($X_{\text{En}} = 0.337\text{-}0.448$) (Tabela 6.4). Verificam-se apenas exceções, com uma análise da amostra PMT-4 a projetar-se no campo das augites e uma análise da amostra PMT-6 a projetar-se no campo das pigeonites.

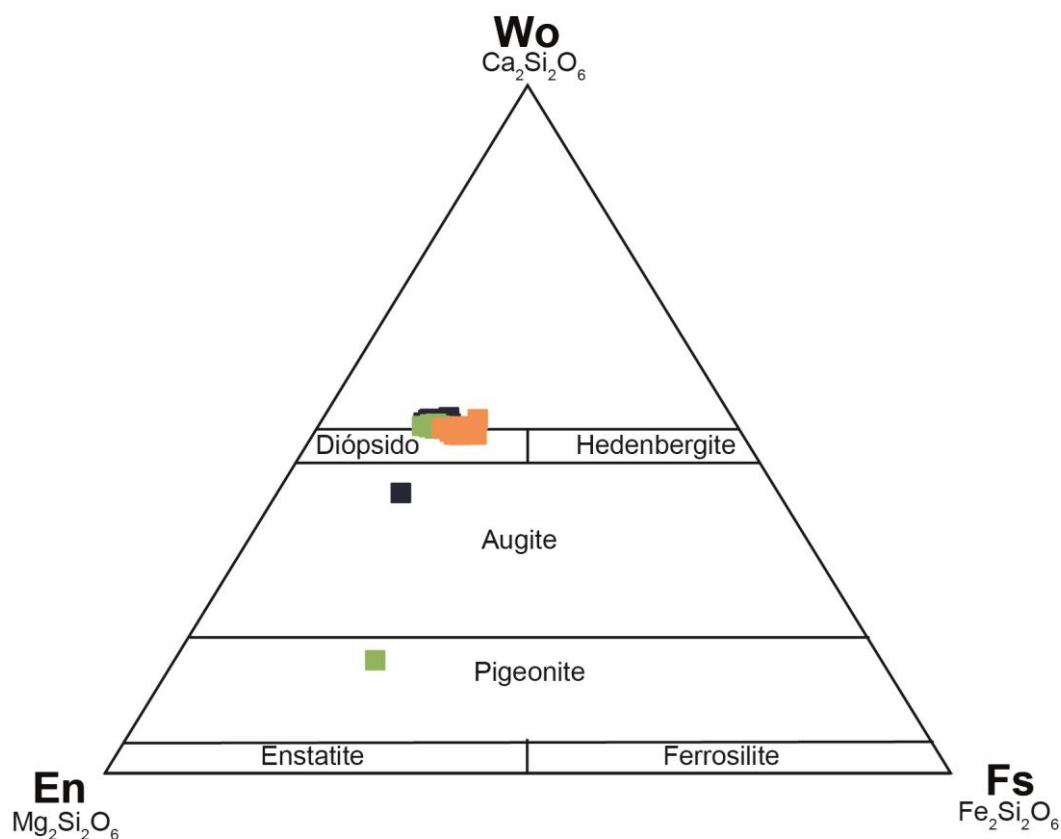


Figura 6.6 - Projeção das análises de piroxenas das amostras metabásicas no diagrama de Morimoto (1988). Simbologia igual à da Fig. 6.1.

Tabela 6.4 - Limites mínimos e máximos dos valores das frações molares de volastonite, enstatite e ferrossilite obtidos nas piroxenas das amostras PMT-4, PMT6 e PMT-11.

Amostra	PMT-4	PMT-6	PMT-11
X_{Wo}	0.408 - 0.518	0.166 - 0.508	0.492 - 0.515
X_{Fs}	0.119 - 0.152	0.120 - 0.235	0.145 - 0.190
X_{En}	0.337 - 0.448	0.349 - 0.599	0.305 - 0.353

6.4 Epídoto

Foram analisadas as fases minerais de epídoto das amostras PMT-6, PMT-14 e PMT-16, tendo estas sido projetadas no diagrama de classificação de epídotos de Kartashov (2014; Fig. 6.7), o qual tem em consideração os elementos Al, Fe^{3+} e o somatório dos elementos que podem ocupar a posição Me^{2+} ($Fe^{2+} + Mn + Mg$). Os epídotos estudados apresentam um enriquecimento em Al e um empobrecimento em elementos com carga 2+, consequentemente, projetam-se no campo dos epídotos (*s.s.*), com os epídotos das amostras PMT-6 e PMT-16 a apresentarem componentes pistacíticas ($Fe^{3+}/(Al+Fe^{3+})$) entre 0.18 e 0.25, enquanto na amostra PMT-14 estes apresentam uma componente pistacítica de 0.28.

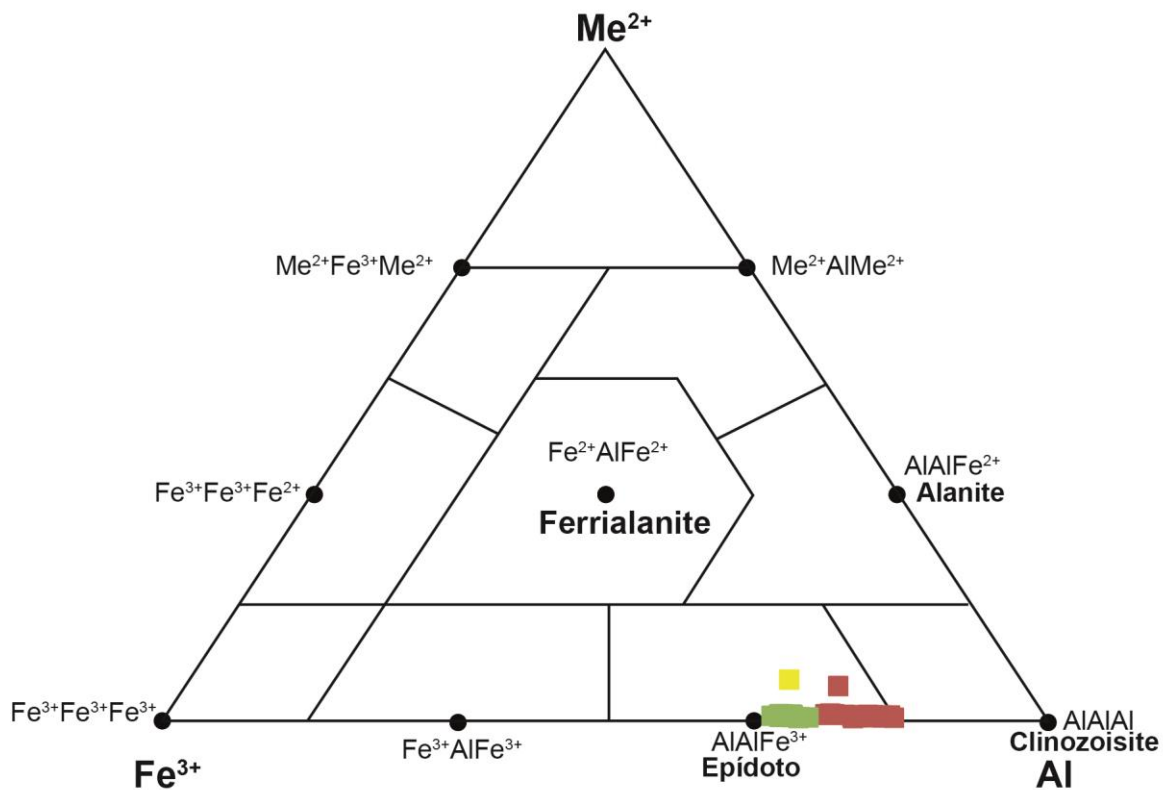


Figura 6.7- Projeção das análises de epidoto das amostras metabásicas no diagrama de Kartashov (2014). Simbologia igual à da Fig. 6.1.

6.5 Granada

Tal como foi referido no capítulo da petrografia, foram granadas nas amostras PMT-4, PMT-9C e PMT-9E. No entanto, nestas últimas duas as granadas apresentam uma dimensão relativamente pequena. Como tal, todos os perfis realizados (Fig. 6.8) referem-se à amostra PMT-4, tendo sido efetuados perfis de 30 pontos nas granadas de maiores dimensões e perfis de 10 e 15 pontos para granadas mais pequenas. As percentagens dos vários componentes foram obtidas recorrendo à folha de Excel de Locock (2008).

De um modo geral, como se pode observar na figura 6.8, as componentes de grossulária e andradite predominam em todas as amostras com valores de $X_{\text{Gross}} = 0.298 - 0.661$ e de $X_{\text{Andr}} = 0.22 - 0.53$. Por sua vez as restantes componentes apresentam valores de fração molar praticamente insignificantes, raramente superiores a 0.02. Nos perfis realizados não se denota qualquer zonamento marcado, existindo no entanto, em algumas das granadas, pequenos picos da componente almandina, que coincidem com picos negativos da componente andradite. Estes picos estão associados a pequenos nódulos ricos em Fe^{2+} presentes no seio das granadas, provavelmente associados à inclusão de um mineral rico em Fe (e.g. biotite ou óxido de Fe).

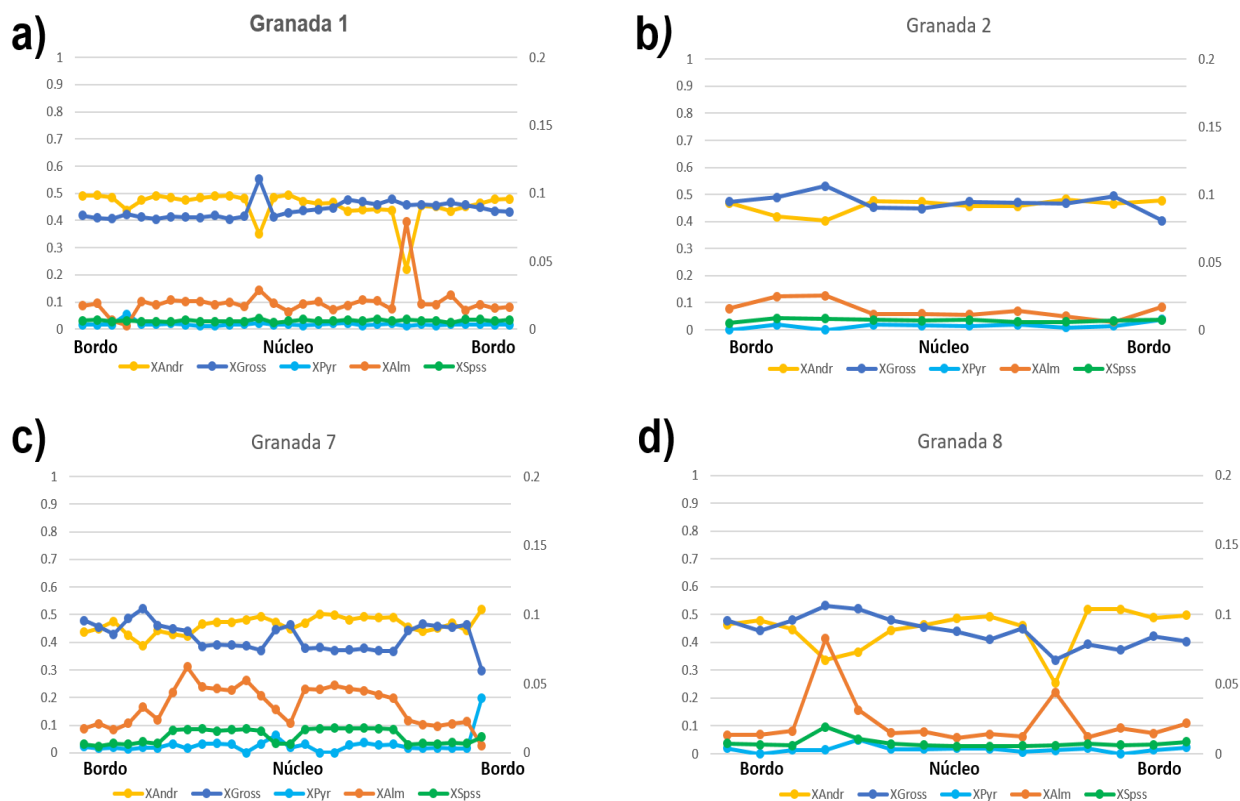


Figura 6.8 - Perfis bordo-núcleo-bordo das granadas 1 (a), 2 (b), 7 (c) e 8 (d). As componentes de andradite e grossulária são projetadas no eixo principal, enquanto as restantes são projetadas no eixo secundário.

6.6 Micas

A presença de micas é exclusiva das amostras metafélicas e metassedimentares, tendo-se confirmado a presença de moscovites nas amostras PMT-2 e PMT-8D e de biotites na amostra PMT-10. A Tabela 6.5 mostram um ligeiro enriquecimento em Al por parte das moscovites da amostra félsica PMT-2 relativamente à amostra metassedimentar PMT-8B, enquanto as moscovites da amostra PMT-8B apresentam mais Fe^{2+} e Mg. Consequentemente, as moscovites félsicas projetam-se no campo das moscovites (*s.s*) no diagrama da Figura 6.9, enquanto as moscovites metassedimentares correspondem a fengites.

Tabela 6.5 - Variação composicional dos elementos mais importantes das moscovites analisadas.

Amostra	Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K
PMT-2	6.10	1.76	3.68	0.01	0.05	0.00	0.02	0.00	0.08	1.57
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6.24	1.90	3.88	0.06	0.21	0.00	0.09	0.01	0.17	1.88
PMT-8D	6.33	1.01	3.03	0.01	0.11	0.00	0.05	0.00	0.08	1.56
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6.99	1.67	3.80	0.05	0.59	0.01	0.44	0.01	0.31	1.76

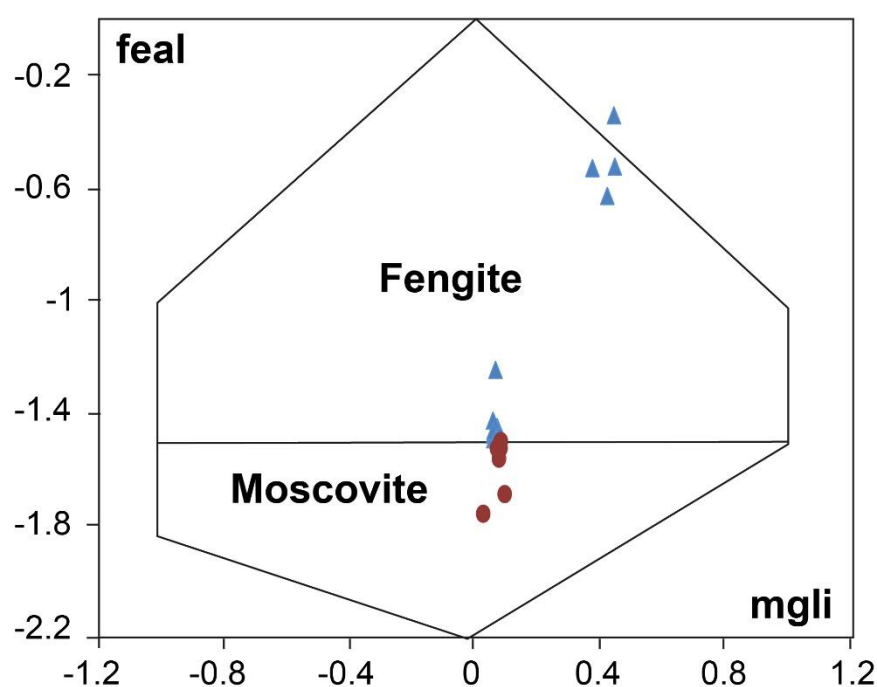


Figura 6.9 – Projeção das moscovites no diagrama de Tischendorf et al. (2004). $Feal = Fe_{TOT} + Mn + Ti - Al^{IV}$; $mgli = Mg - Li$. PMT-2 (●), PMT-8B (▲).

Por sua vez, as biotites da amostra metassedimentar PMT-10 são ricas em Fe^{2+} (Tabela 6.6), apresentando, conseqüentemente, composições entre anite e siderofilite, ainda que ligeiramente mais próximas desta última como se pode observar no diagrama da Figura 6.10.

Tabela 6.6 - Variação composicional dos elementos mais importantes das biotites analisadas.

Amostra	Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K
PMT-10	5.22	2.45	0.74	0.28	2.76	0.00	1.04	0.00	0.02	1.61
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5.55	2.78	1.28	0.38	3.52	0.02	1.29	0.01	0.04	1.90

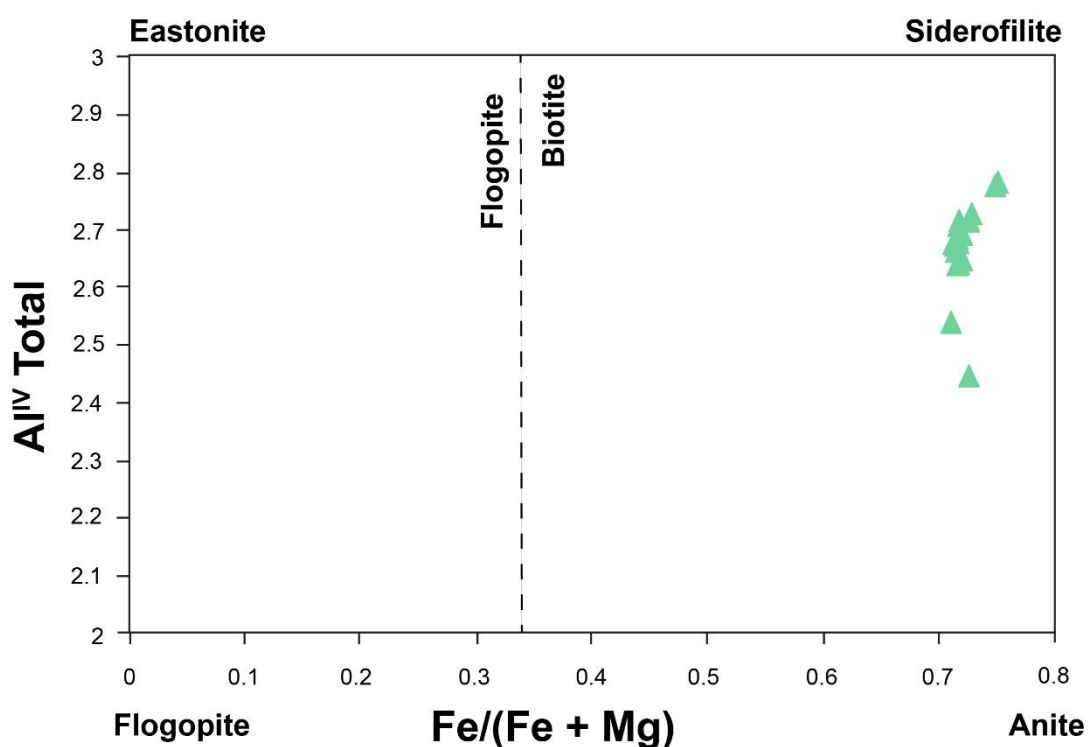


Figura 6.10 – Projeção das biotites no diagrama Al^{IV} Vs Fe/(Fe/Mg) de Deer et al. (2013). PMT-10 (▲).

6.7 Óxidos

No que respeita aos óxidos presentes nas amostras em estudo, a Fig. 6.11 mostra que nas amostras básicas, PMT-12B e PMT-15, os óxidos correspondem essencialmente a composições intermédias entre ilmenites e ferropseudobrookite, verificando-se também a presença de algum rútilo, bem como a presença titanohematite e hematite. Por sua vez, os óxidos estudados na amostra félsica, PMT-2 correspondem a hematites, enquanto os óxidos analisados na amostra metassedimentar, PMT-10, correspondem a rútilo.

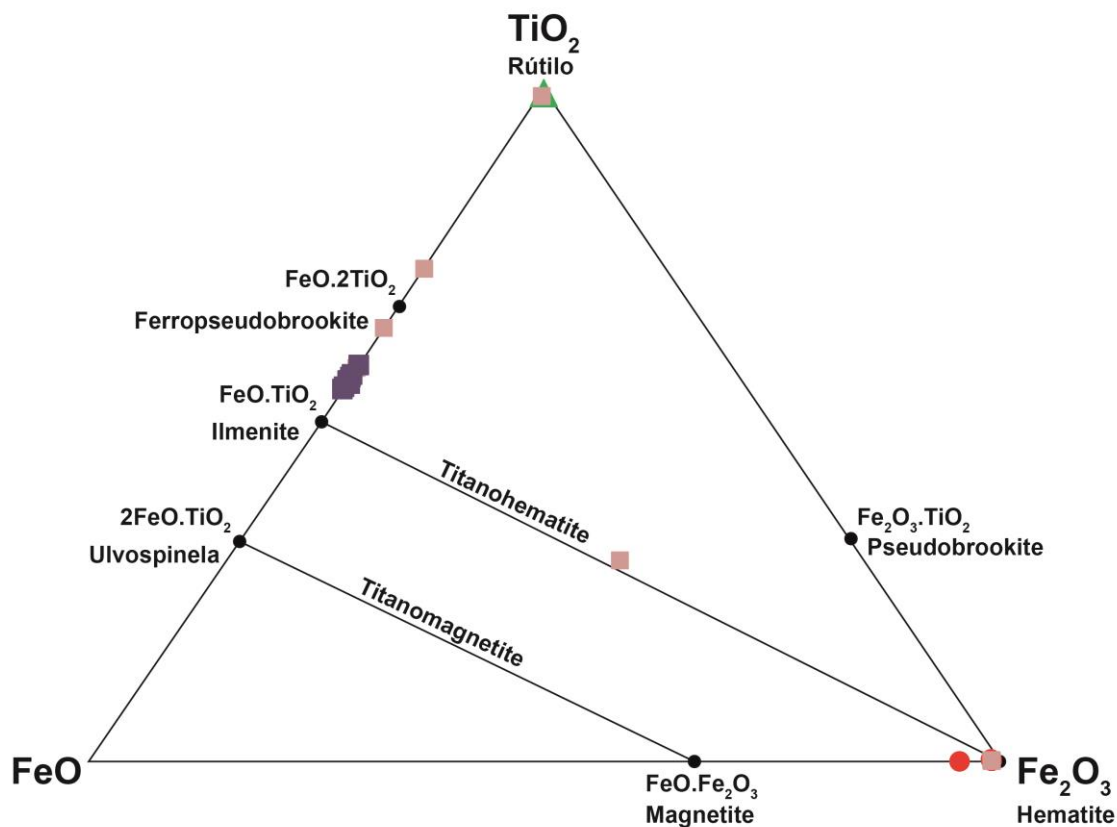


Figura 6.11 - Projeção das análises de óxidos das amostras metabásicas e metafélicas no diagrama FeO – TiO₂ – Fe₂O₃. PMT-10 (▲), PMT-12A (●), PMT-12B (■), PMT-15 (■).

7 Litogeoquímica

Neste capítulo pretende-se apresentar as características geoquímicas das rochas meta-vulcânicas da região de Viana do Alentejo. A composição de uma rocha depende da composição química da fonte e dos processos ígneos responsáveis pela sua geração, bem como de processos metamórficos e meteóricos que possam ter afetado a rocha após a sua geração. Como tal, com vista a identificar e compreender os processos ígneos e metamórficos que afetaram as amostras estudadas, foram analisadas as composições químicas de 18 amostras da região de Viana do Alentejo, das quais 6 são rochas meta-vulcânicas félicas e 12 correspondem a rochas meta-vulcânicas básicas. Para além desta divisão litológica, estas amostras foram também divididas com base na sua localização, estando distribuídas pelos seguintes sectores:

- São Bartolomeu do Outeiro: PMT-3, PMT-4, PMT-5, PMT-10, PMT-11;
- Estrutura de Oriola: PTM-1, PMT-2, PMT-6, PMT-7, PMT-8C, PMT-9A, PMT-9B e PMT-9C;
- Estrutura de Viana do Alentejo: PMT-12A, PMT-12B, PMT-13, PMT-14, PMT-16;
- Estrutura de Portel-S. Lourenço: PMT-17.

7.1 Elementos Maiores

São designados por elementos maiores todos os elementos químicos presentes em concentrações superiores a 0.1%. A concentração destes elementos é tipicamente apresentada sob a forma de percentagem dos óxidos correspondentes (Gill, 2015), sendo este tipo de elementos essencialmente usado para a classificação das rochas (Tabela 7.1).

Tabela 7.1 - Composição química (Wt%) dos elementos maiores das amostras básicas e félsicas analisadas.

Amostra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
PMT-1	88.19	0.45	6.73	1.28	0.01	0.17	0.05	1.86	0.31	< 0.01	1.41	99.05
PMT-2	87.83	0.46	6.86	1.08	0.01	0.17	0.16	2.09	0.86	0.05	0.98	99.57
PMT-3	77.27	0.30	13.03	1.14	0.01	0.14	0.25	0.2	5.9	< 0.01	2.06	98.23
PMT-5	79.00	0.15	11.9	0.60	0.01	0.03	0.43	0.84	5.55	< 0.01	0.45	98.51
PMT-12A	71.7	0.28	14.5	3.50	0.04	0.63	0.76	0.24	7.59	0.03	0.87	99.27
PMT-17	64.5	0.17	17.9	4.59	0.04	0.03	0.04	5.49	7.06	0.03	0.55	99.85
PMT-4	48.31	0.96	14.98	8.68	0.19	4.14	17.8	0.59	2.51	0.07	2.4	98.23
PMT-6	47.62	1.67	15.43	11.28	0.20	3.96	14.49	0.47	2.97	0.19	1.99	98.28
PMT-7	49.66	1.93	14.66	10.91	0.22	4.07	11	1.08	3.75	0.26	1.41	97.54
PMT-8C	42.83	3.55	15.26	13.97	0.17	8.25	9.35	0.05	2.79	0.51	3.67	96.73
PMT-9A	48.47	1.40	16.08	9.64	0.18	7.28	10.84	0.42	3.63	0.16	1.09	98.10
PMT-9B	50.92	0.97	15.13	9.43	0.18	7.24	10.9	0.25	3.78	0.09	1.11	98.90
PMT-9C	47.24	0.89	17.36	9.79	0.19	4.67	13.44	2.16	2.13	0.05	2.67	97.92
PMT-11	49.34	1.77	14.5	12.62	0.24	7.04	10.32	0.39	3.18	0.17	1.01	99.57
PMT-12B	51.85	2.30	14.04	12.31	0.35	5.25	6.57	0.93	4.17	0.21	1.34	97.98
PMT-13	42.1	2.06	15.55	13.44	0.20	4.29	19.75	0.07	0.37	0.23	2.42	98.06
PMT-14	51.03	1.87	14.2	10.65	0.18	6.19	9.97	0.35	3.61	0.28	1.41	98.34
PMT-16	44.59	0.67	20.12	7.44	0.12	8.64	10.66	0.22	3.05	0.04	4.83	95.54

Uma vez conhecida a atuação de fenómenos metamórficos na ZOM durante a Orogenia Varisca, podendo tal ter provocado trocas iónicas nas rochas vulcânicas da região de Viana do Alentejo, optou-se por, antes de qualquer análise dos dados geoquímicos, verificar se alguma das amostras analisadas terá sofrido alterações composicionais significativas durante o episódio metamórfico. Para tal, recorreu-se ao diagrama de Miyashiro (1975) (Fig. 7.1). Este diagrama mostra que a maioria das amostras não se projeta no campo das rochas significativamente alteradas, sendo que apenas as amostras PMT-3, PMT-5, PMT-12A, PMT-8C e PMT-9B se projetam nesse campo. No entanto, grande parte das amostras básicas analisadas encontram-se relativamente próximas da curva divisória.

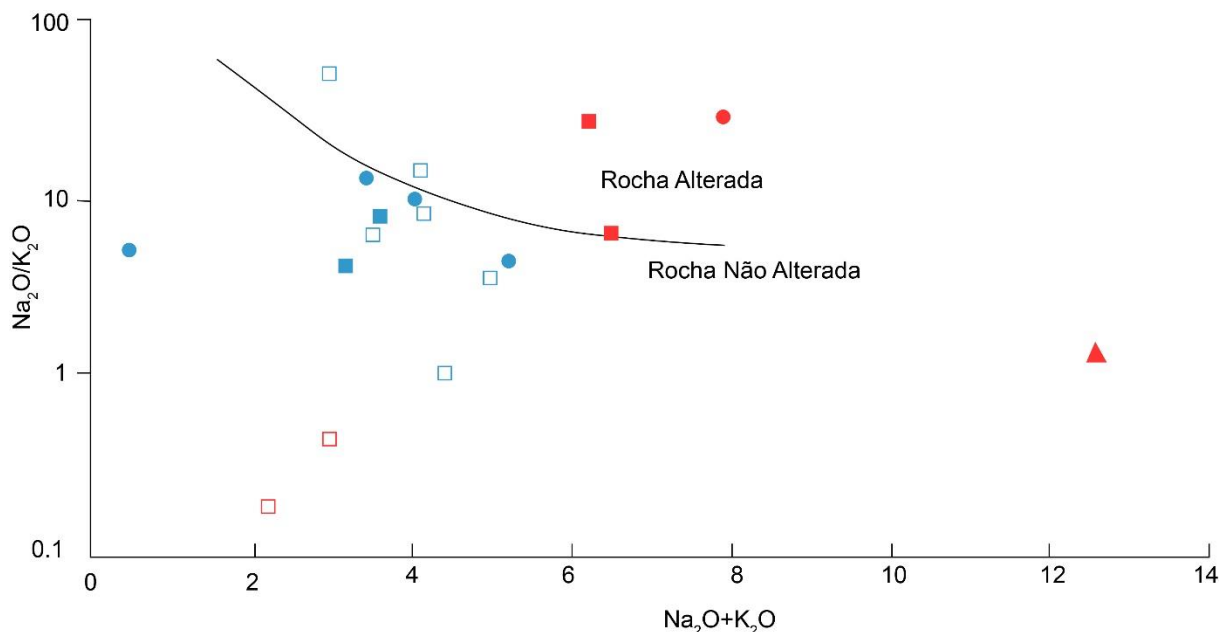


Figura 7.1 - Diagrama $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ vs $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ de Myashiro (1975). Setor da estrutura de Viana do Alentejo (Félsicas - ●; Básicas - ●); Setor da Estrutura de Oriola (Félsicas - □; Básicas - □); Setor de S. Bartolomeu do Outeiro (Félsicas - ■; Básicas - ■); Setor da Estrutura de Portel-S. Lourenço (▲).

Para se proceder à sua classificação, as amostras analisadas foram projetadas no diagrama TAS de Le Bas *et al.* (1986; Fig. 7.2A), tendo-se previamente calculado o peso percentual dos óxidos em base anidra. De acordo com este diagrama as amostras félsicas correspondem a riólitos, com a exceção da amostra PMT-17, que se projeta no campo dos traquitos/traquidacitos, apresentando valores de SiO_2 entre 64 e 88%. Com base na observação do diagrama TAS e da Tabela 7.1, é possível distinguir 2 grupos distintos de riólitos, um, composto pelas amostras do setor da estrutura de Oriola (PMT-1 e PMT-2), com percentagens de SiO_2 próximas de 90%, e de Al_2O_3 e Na_2O inferiores a 7 e 1%, respetivamente, e outro, constituído pelas amostras de S. Bartolomeu (PMT-3 e PMT-5) e da estrutura de Viana do Alentejo (PMT-12A) cujas percentagens de SiO_2 variam entre 71 e 80% e as de Al_2O_3 e Na_2O são superiores a 11 e 5%, respetivamente. Por sua vez, as amostras máficas apresentam valores de SiO_2 entre 42 e 51%, correspondendo maioritariamente a basaltos no diagrama TAS (Fig.7.2A), com a exceção da amostra PMT-12B, que se projeta no campo dos basaltos traqui-andesíticos e das amostras PMT-8C e PMT-13, que se projetam no campo dos picrobasaltos. Contudo, tendo em conta que as amostras evidenciam ter sido sujeitas a processos metamórficos (encontrando-se na fácies dos xistos verdes ou anfibolítica), a projeção destas no diagrama TAS não é a mais fiável, pois este diagrama está alicerçado nas concentrações de Na_2O e K_2O que são LILE, logo bastante móveis durante os processos metamórficos. Como tal, as amostras analisadas foram também projetadas no diagrama de Jensen (1976), no qual a classificação das rochas baseia-se nas proporções dos cátions ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Ti}$), Al e Mg, sendo estes elementos relativamente imóveis em condições metamórficas de grau baixo a intermédio. Neste diagrama (Fig. 7.2B), à semelhança do diagrama TAS, as amostras félsicas projetam-se no campo dos riólitos, enquanto as amostras máficas projetam-se no campo dos basaltos.

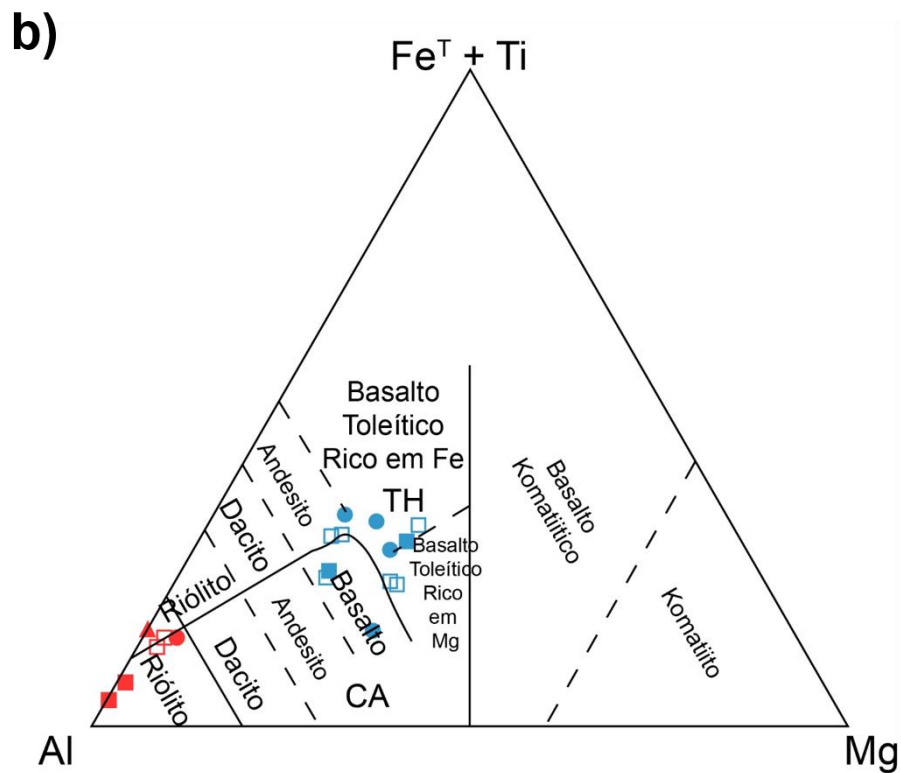
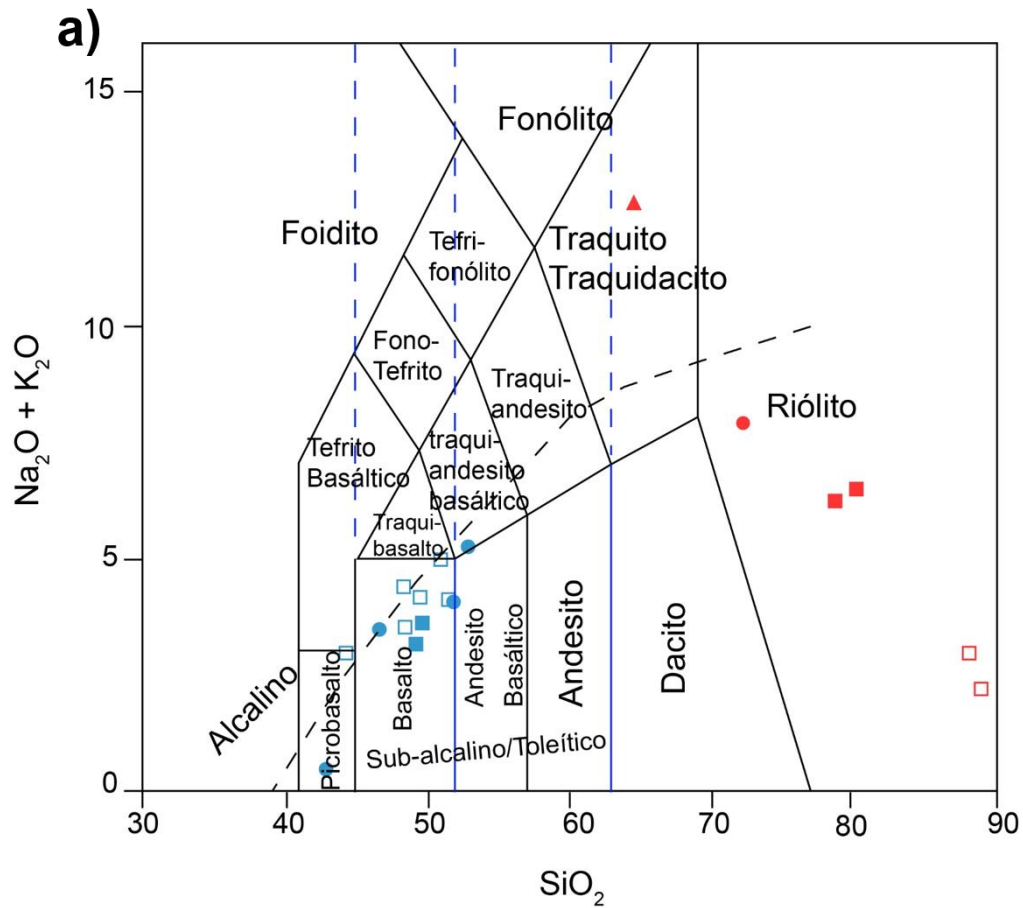


Figura 7.2 - A - Diagrama TAS (Le Bas et al., 1986) para a classificação das amostras rochas máficas e félsicas. B - Diagrama de Jensen (1976) para a classificação das amostras máficas e félsicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.

As amostras riolíticas constituem uma sequência calco-alcalina, evidenciando um aumento progressivo em ferro, como se pode observar no diagrama AFM (Fig. 7.3A), apresentando um carácter fracamente a fortemente peraluminoso (Fig. 7.3B). Por sua vez, os metabasaltos de Viana do Alentejo apresentam um carácter fortemente metaluminoso ($A/NK > 1.8$), constituindo uma associação transicional entre a série calco-alcalina e toleítica.

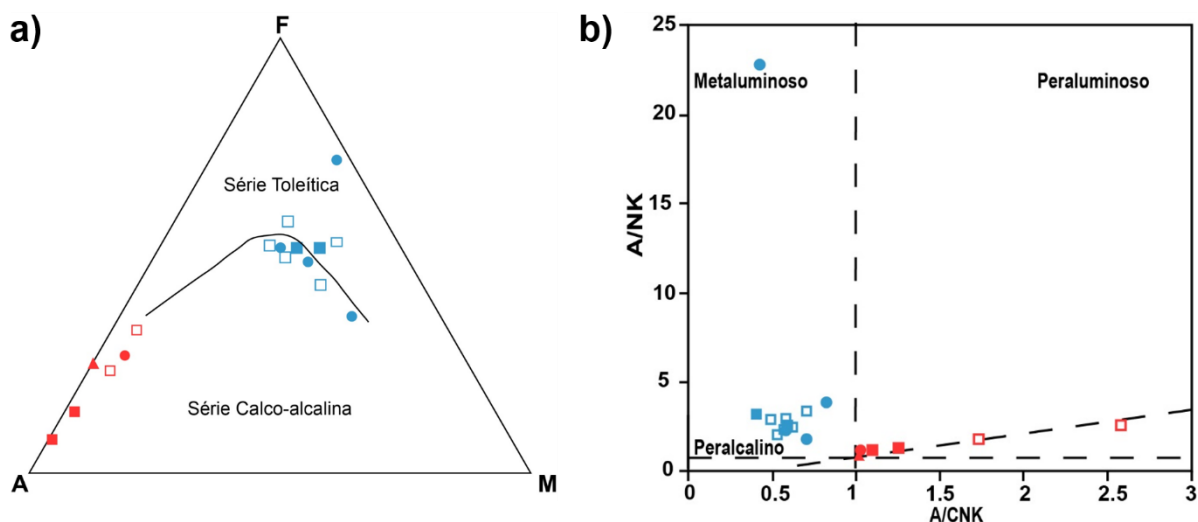


Figura 7.3 - Diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971) e b) Índice de aluminosidade de Maniar & Piccoli (1989) para as amostras máficas e félsicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.

Nos diagramas de Harker (Fig. 7.4) os riólitos mostram correlações positivas para TiO_2 e K_2O , enquanto Al_2O_3 , Na_2O e FeO_t denotam uma correlação negativa, sendo de salientar que no caso do K_2O e NaO se observa uma ligeira dispersão. No que respeita ao CaO , MgO e P_2O_5 , não se verifica variações significativas da sua concentração. Por sua vez, nas amostras básicas observa-se uma tendência linear positiva entre SiO_2 e TiO_2 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 e FeO_t nas amostras mais siliciosas, sendo o oposto para CaO , Al_2O_3 e MgO . No entanto, para MgO , P_2O_5 e FeO_t é notória uma dispersão significativa.

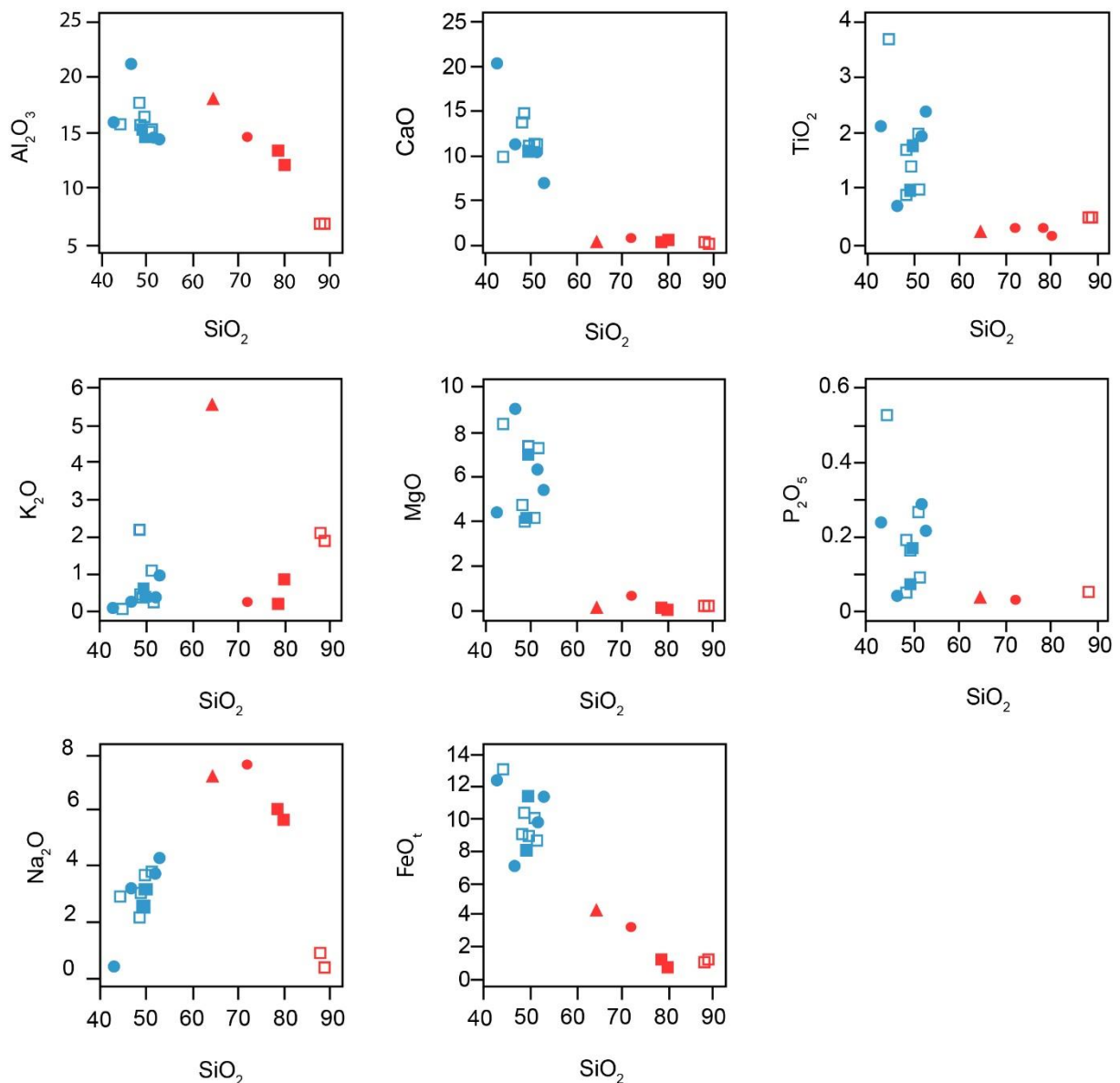


Figura 7.4 - Diagramas de Harker de Al_2O_3 , CaO , TiO_2 , K_2O , MgO , P_2O_5 , Na_2O e FeO_t para as amostras máficas e félsicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.

7.2 Elementos Traço

Os elementos traço ocorrem em concentrações inferiores a 0.1% na rocha, sendo a sua concentração tipicamente expressa em ppm (partes por milhão) ou ppb (partes por mil milhões) (Gill, 2015). O estudo do comportamento destes elementos apresenta uma elevada relevância, dado que tal permite identificar e compreender os processos petrológicos a que as rochas foram sujeitas. O comportamento dos elementos traço durante a evolução magmática é controlado pelo respetivo coeficiente de partição (D), sendo elementos com $D > 1$ designados como compatíveis, enquanto elementos com $D < 1$ designam-se por incompatíveis. Os elementos incompatíveis podem ser posteriormente subdivididos em 2 grupos com base no seu potencial iónico (razão carga iónica/raio iónico): os *high field strength elements* (HFSE) e os *Large Ion Lithophile Elements* (LILE) (Rollinson, 1993). Os HFSE correspondem a elementos com um elevado potencial iónico, sendo, consequentemente, relativamente insolúveis. Como tal as concentrações destes elementos tendem a

manter-se estáveis durante episódios de meteorização ou metamorfismo, providenciando importantes informações sobre o ambiente em que as rochas de origem ígnea (protólitos) foram geradas. Por sua vez, os LILE, ao contrário dos HFSE, apresentam grandes raios iônicos, o que leva a que estes elementos apresentem baixos potenciais iônicos, e, conseqüentemente, a que estes elementos sejam relativamente mobilizáveis durante episódios de alteração, pelo que o seu uso em rochas vulcânicas afetadas por metamorfismo orogénico é, por vezes, problemático, devendo os seus resultados ser interpretados com cautela.

Nos diagramas de Harker para os elementos traço (Fig.7.5) é possível observar que as rochas básicas apresentam correlações positivas para Rb, Zr e Ba, enquanto para Sr e Nb se verifica o contrário. No que respeita às amostras félsicas, constata-se correlações positivas para elementos como o Rb, Zr, e Nb, ainda que de forma muito subtil neste último, sendo que para o Ba se observam 2 tendências distintas, uma positiva e outra negativa. Em termos da razão La/Lu, verifica-se que, em ambas as litologias, esta é maior nas amostras mais evoluídas.

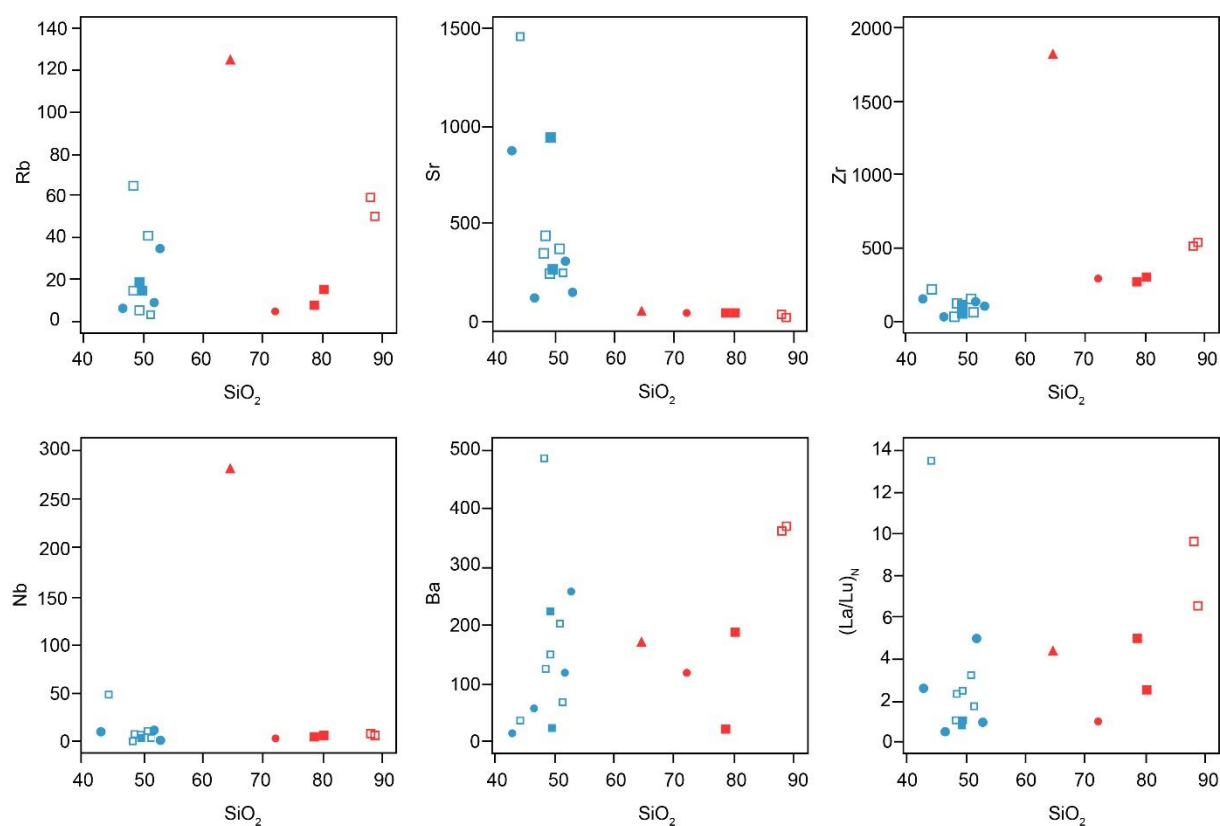


Figura 7.5 - Diagramas de Harker de Rb, Sr, Zr, Nb, Ba e $(La/Lu)_N$ para as amostras máficas e félsicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.

Os diagramas multi-elementares para as amostras básicas, normalizadas ao manto primitivo (Fig. 7.6), evidenciam anomalias positivas de Pb e Sr e anomalias negativas de P e Nb, sendo notório um maior enriquecimento em Th e U na amostra de Oriola (PMT-8C). Este diagrama denota também uma ligeira tendência decrescente, demonstrando um enriquecimento das amostras básicas em LILE (e.g. Cs, Rb, Ba) comparativamente aos HFSE (e.g. Nb, La, Eu, Lu). As amostras básicas foram também projetadas em diagramas multi-elementares normalizados a N-MORB (Fig. 7.7) e E-MORB (Fig. 7.8),

com vista a compreender a sua fonte magmática. A observação destes diagramas permite afirmar que as amostras máficas apresentam uma maior correlação com E-MORB, sendo o significado de tal correlação discutido mais à frente. Nestes diagramas multi-elementares, em algumas amostras, certos elementos não se encontram projetados por apresentarem análises abaixo do limite de deteção. Tal é caso do Cs nas amostras PMT-8C, PMT-9A, PMT-9B, PMT-13 e PMT-16, do Nb e Ta nas amostras PMT-4 e PMT-16, do Rb nas amostras PMT-8C e PMT-13, do U nas amostras PMT-9C e PMT-16 e do Th e Pb nas amostras PMT-16 e PMT-12B respetivamente.

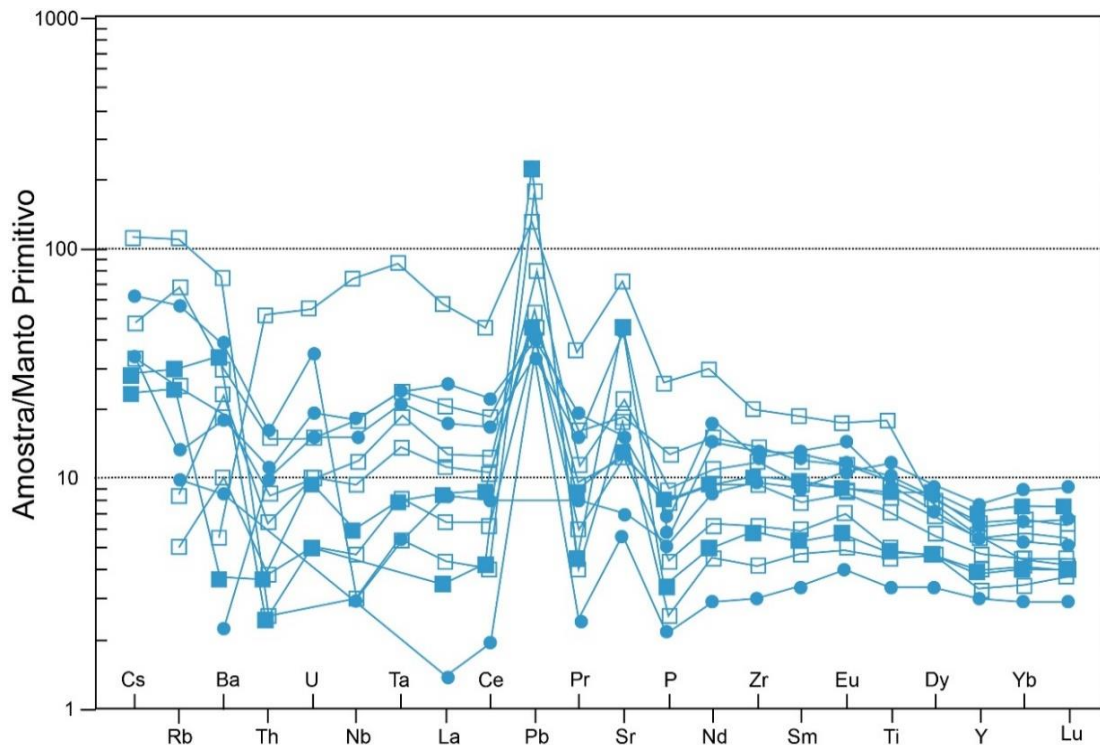


Figura 7.6 - Diagrama multi-elementar para as amostras máficas, normalizadas ao Manto Primitivo (Sun & Mcdonough, 1995). Simbologia igual à da Fig. 7.1.

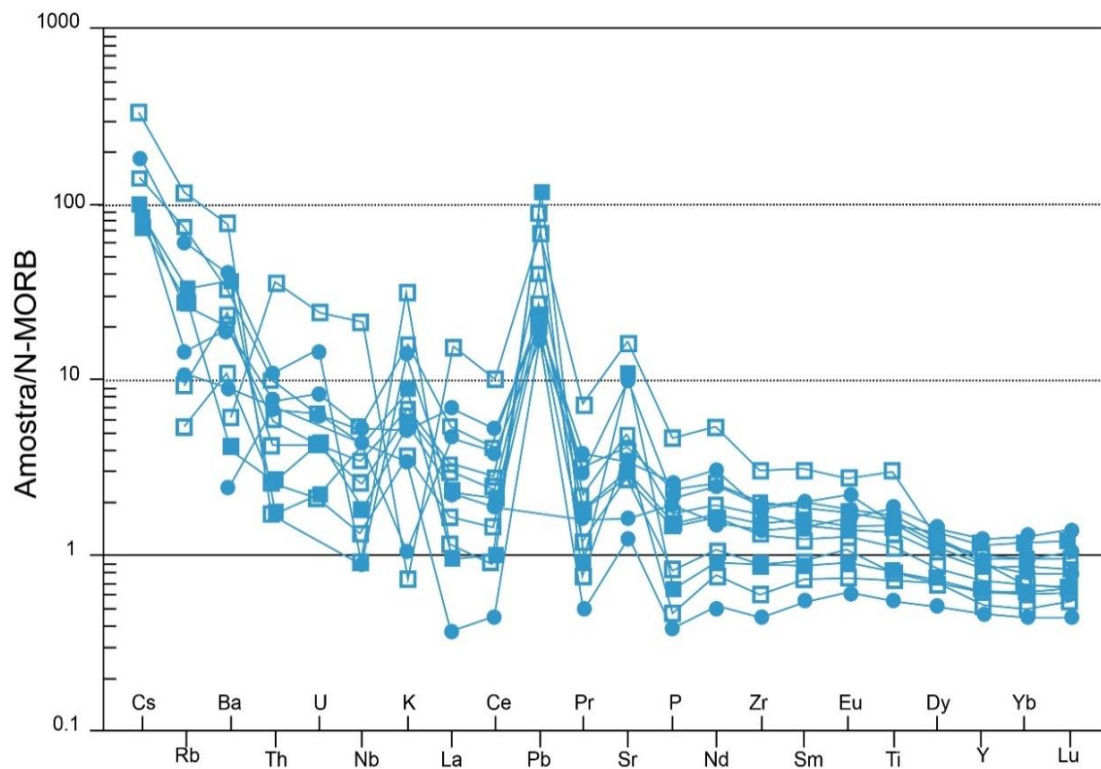


Figura 7.8 - Diagrama multi-elementar para as amostras máficas, normalizadas a N-MORB (Sun & Mcdonough, 1995). Simbologia igual à da Fig. 7.1.

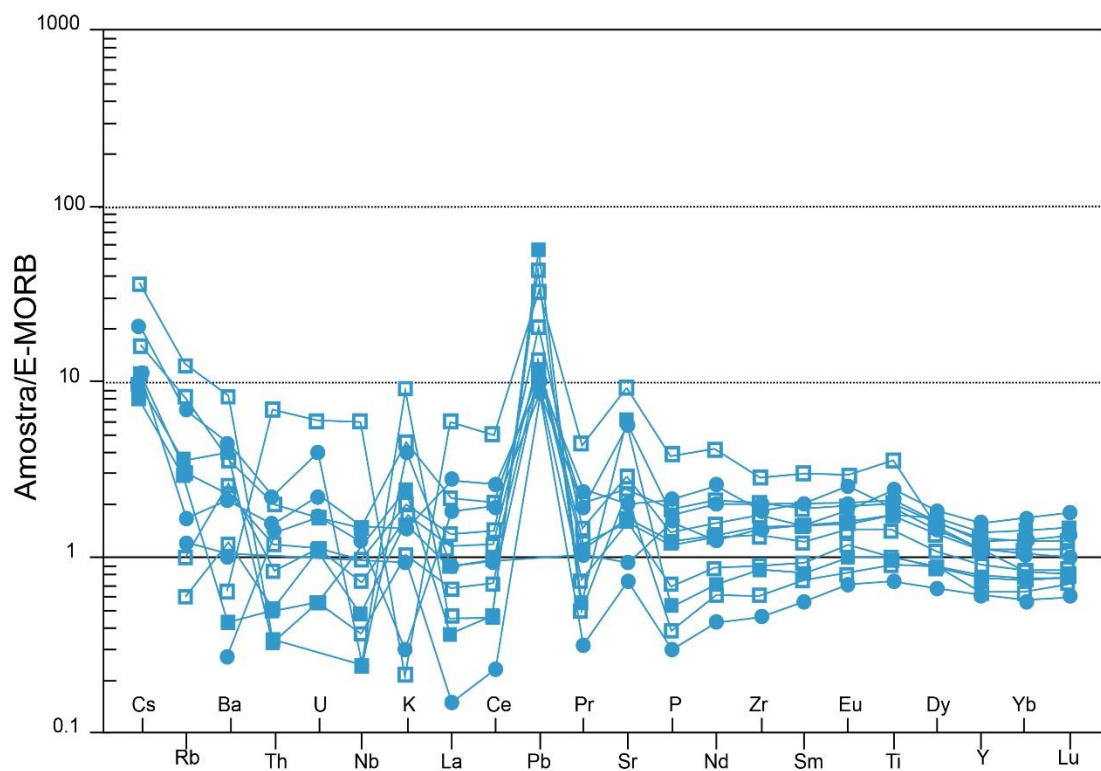


Figura 7.7 - Diagrama multi-elementar para as amostras máficas, normalizadas a E-MORB (Sun & Mcdonough, 1995). Simbologia igual à da Fig. 7.1.

Por sua vez, as amostras félsicas foram normalizadas à crosta inferior (Weaver & Tarney, 1984) e à crosta superior (Taylor & McLennan, 1985) (Fig. 7.9 e 7.10), apresentando uma maior correlação com a crosta superior, sendo tal evidenciado pelas abundâncias dos elementos tipicamente mais imóveis (e.g. Th, U, La, Ce, Hf, Y, Tm e Yb). Em ambos os diagramas multi-elementares para as rochas félsicas é possível diferenciar 2 grupos, sendo as amostras de Oriola mais empobrecidas em HREE e Y comparativamente às restantes. No que respeita a anomalias, observam-se anomalias negativas de Sr, Ba, K, P e Ti.

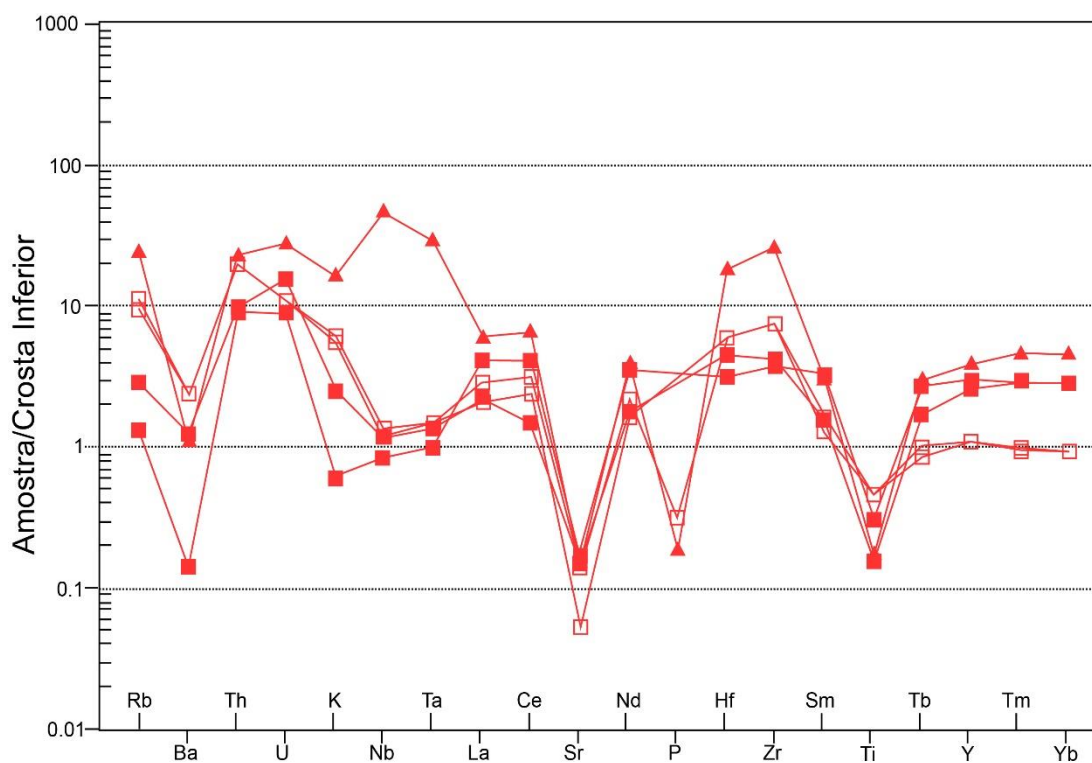


Figura 7.9 - Diagrama multi-elementar para as amostras félsicas, normalizadas à crosta inferior (Taylor & McLennan, 1995). Simbologia igual à da Fig. 7.1.

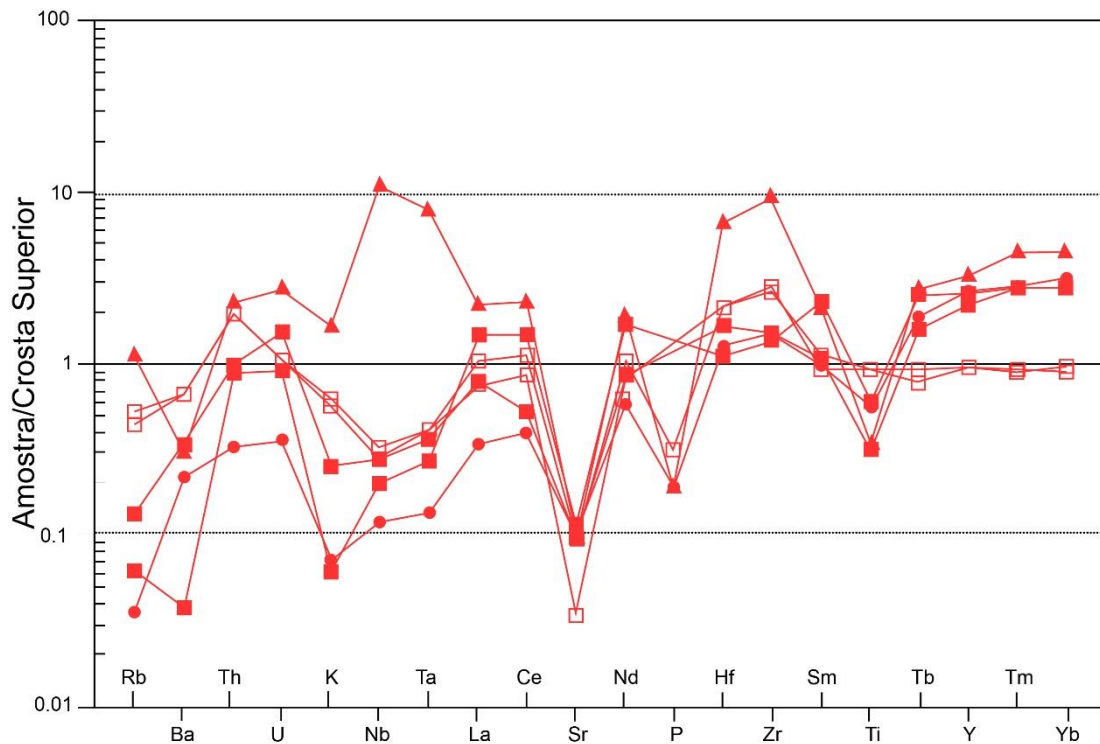


Figura 7.10 - Diagrama multi-elementar para as amostras félsicas, normalizadas à crosta superior (Taylor & McLennan, 1995). Simbologia igual à da Fig. 7.1.

Nos padrões de Elementos das Terras Raras (REE) (Fig. 7.11) observa-se que as amostras félsicas encontram-se enriquecidas em LREE (REE leves), apresentando valores de $(La/Lu)_N$ entre 1.05 e 9.9, sendo notória a presença de uma anomalia negativa de Eu em todas as amostras ($Eu/Eu^* = 0.37-0.56$). Neste diagrama é novamente evidente a existência de 2 grupos de rochas de natureza félsica, nomeadamente um grupo, composto pelas amostras de S. Bartolomeu (PMT-3 e PMT-5) e de Viana do Alentejo (PMT-12A), que se encontra mais enriquecido em REE pesados ($HREE_t = 24.31-39.47$ ppm); e um outro grupo, composto pelas amostras de Oriola (PMT-1 e PMT-2), mais empobrecido nestes mesmos elementos ($HREE_t = 9.15-9.35$ ppm), sendo que a amostra de Portel (PMT-17) apresenta um maior enriquecimento em REE comparativamente aos outros 2 grupos de amostras ($REE_t = 337.69$ ppm).

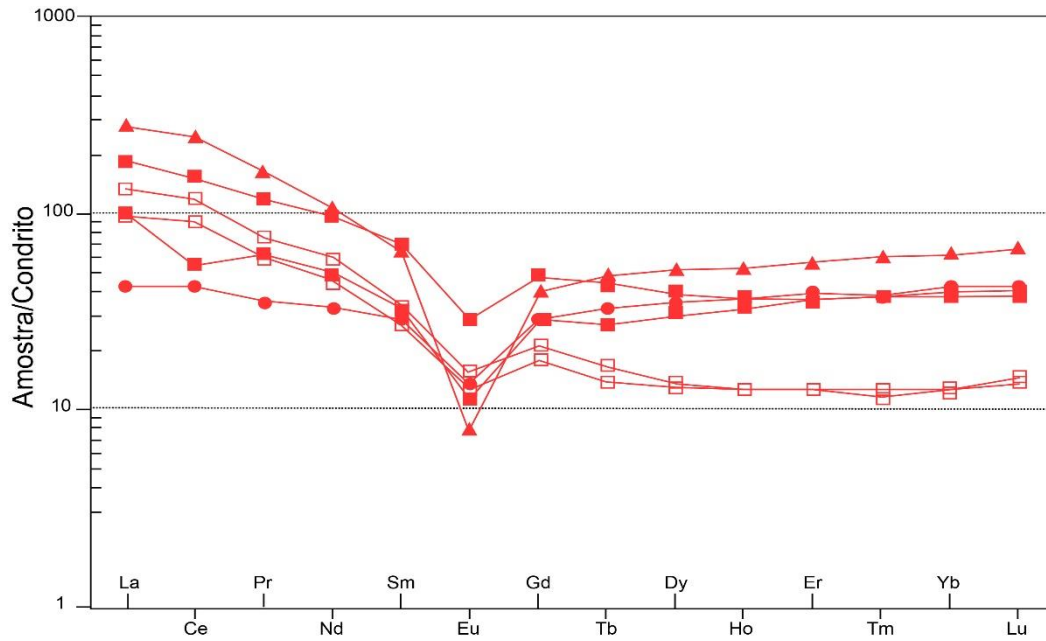


Figura 7.11 - Diagrama de padrões de REE (terras raras) para as amostras félsicas, normalizadas ao condrito (McDonough & Sun, 1995). Simbologia igual à da Fig. 7.1.

Por sua vez, para as rochas máficas (Fig. 7.12) é possível observar-se um padrão “em leque” para os LREE, enquanto para os HREE estas amostras apresentam um padrão mais aplanado e constante. Pode-se, portanto, afirmar que as rochas máficas analisadas apresentam diferentes graus de enriquecimento em LREE, com razões $(La/Lu)_N$ bastante variáveis ($(La/Lu)_N = 0.47-13.46$).

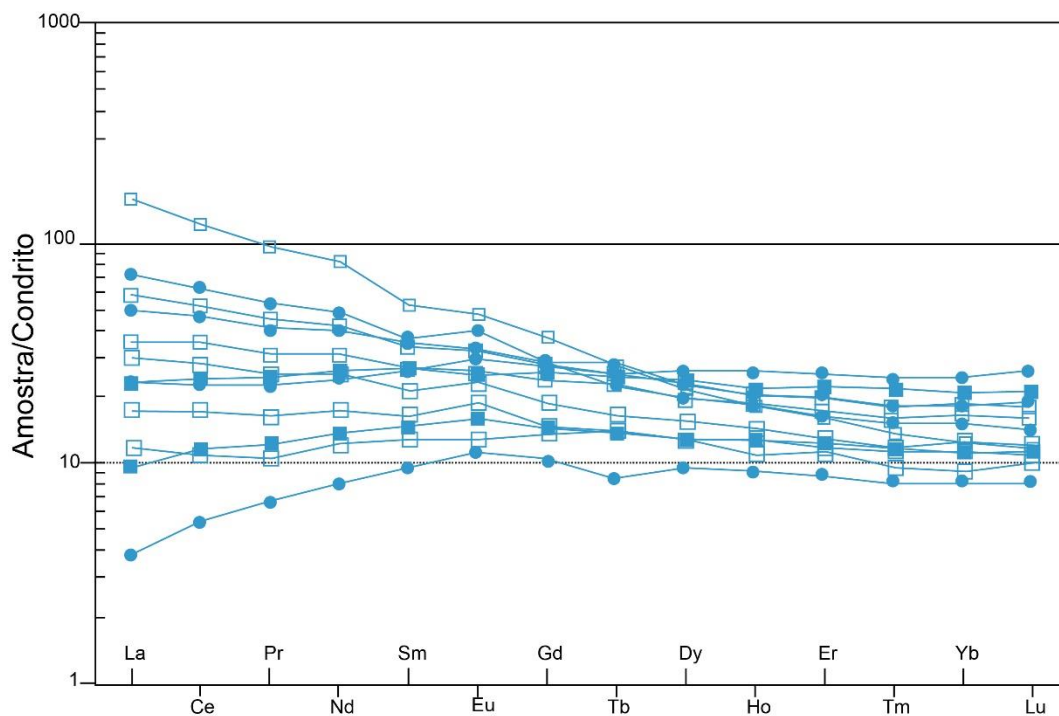


Figura 7.12 - Diagrama de padrões de REE (terras raras) para as amostras máficas, normalizadas ao condrito (McDonough & Sun, 1995). Simbologia igual à da Fig. 7.1.

7.3 Diagramas Discriminantes

Os diagramas discriminantes são particularmente úteis para a compreensão dos ambientes geodinâmicos em que as rochas estudadas foram geradas. No entanto, este tipo de diagramas raramente permite saber de forma inequívoca o ambiente responsável pela geração das rochas, indicando apenas possíveis afinidades (Rollinson, 1993). Os campos destes diagramas são construídos com base em métodos estatísticos, sendo projetadas variáveis de um número elevado de amostras geradas em ambientes geodinâmicos conhecidos. Por sua vez as variáveis escolhidas são aquelas que melhor discriminam os diferentes ambientes, podendo estas corresponder a concentrações elementares ou funções baseadas em concentrações elementares. Tipicamente recorre-se a diagramas discriminantes baseados em elementos imóveis, dada a sua maior aplicabilidade, uma vez que a concentração destes elementos se mantêm relativamente estável, mesmo quando a rocha é sujeita a episódios de meteorização, hidrotermalismo ou metamorfismo de baixo ou médio grau (Rollinson, 1993).

De modo a averiguar as afinidades geodinâmicas das rochas meta-vulcânicas da região de Viana do Alentejo recorreu-se aos diagramas discriminantes de Wood (1980) e Pearce (2008) para as amostras máfica, e aos diagramas de Pearce *et al.* (1984) para as amostras félsicas. No diagrama de Wood (1980) constata-se que as amostras básicas analisadas se distribuem quase exclusivamente pelos campos N-MORB e E-MORB (Fig. 7.13). Apenas as amostras PMT-8C e PMT-12B não se projetam nestes campos, com a primeira a projetar-se no campo dos basaltos intraplaca alcalinos (WPA) e a última no campo dos basaltos calco-alcalinos (CAB).

Por sua vez, no diagrama de Pearce (2008) (Fig. 7.14) todas as amostras, com a exceção da amostra PMT-12B, projetam-se ao longo da banda MORB-OIB, demonstrando, à semelhança do que se observa no diagrama de Wood (1980), uma proximidade a E-MORB e N-MORB, com apenas a amostra PMT-8C a denotar um quimismo próximo de OIB.

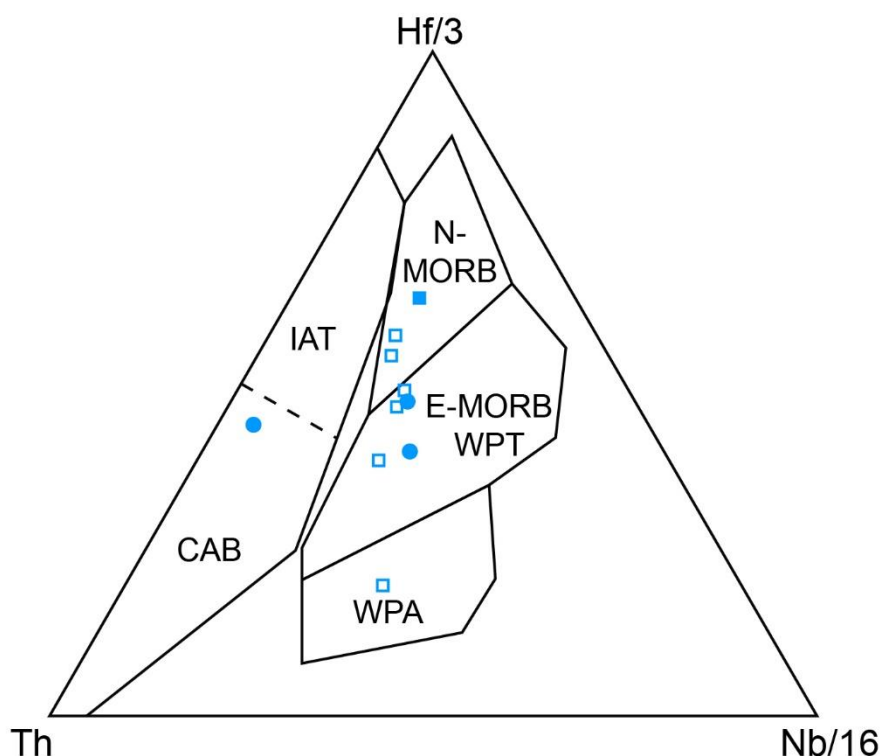


Figura 7.13 - Diagrama discriminante de Hf/3 – Th – Nb/16 de Wood (1980). Simbologia igual à da Fig. 7.1.

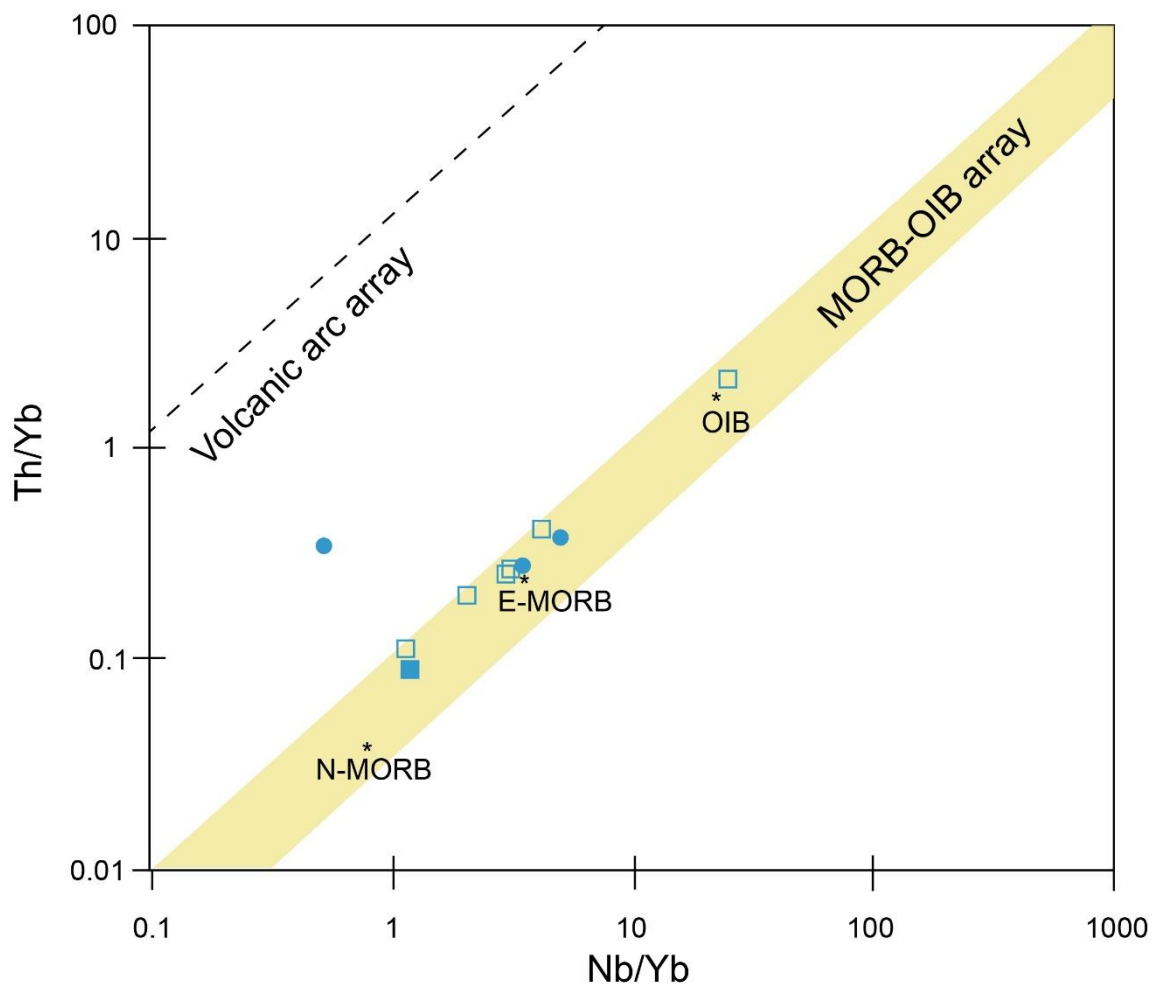


Figura 7.14 - Diagrama discriminante Nb/Yb vs Th/Yb de Pearce (2008). Simbologia igual à da Fig. 7.1.

Nos diagramas de Pearce *et al.* (1984) é possível distinguir, novamente, dois grupos principais de amostras félsicas: a) composto pelas amostras de S. Bartolomeu do Outeiro e de Viana do Alentejo, que se projeta no campo dos granitos de crista oceânica (ORG); e b) composto pelas amostras de Oriola, projetado no campo do granito de arco vulcânico (VAG). De notar também a amostra PMT-17, que se projeta no campo dos granitos intraplaca (WPG), diferenciando-se mais uma vez das restantes amostras. Tal observação é válida independentemente de se utilizar os gráficos de Pearce *et al.* (1984) com elementos mais imóveis ou não, embora os gráficos que utilizam o Rb, um LILE, como elemento discriminante incorporem maior dispersão na projeção das amostras.

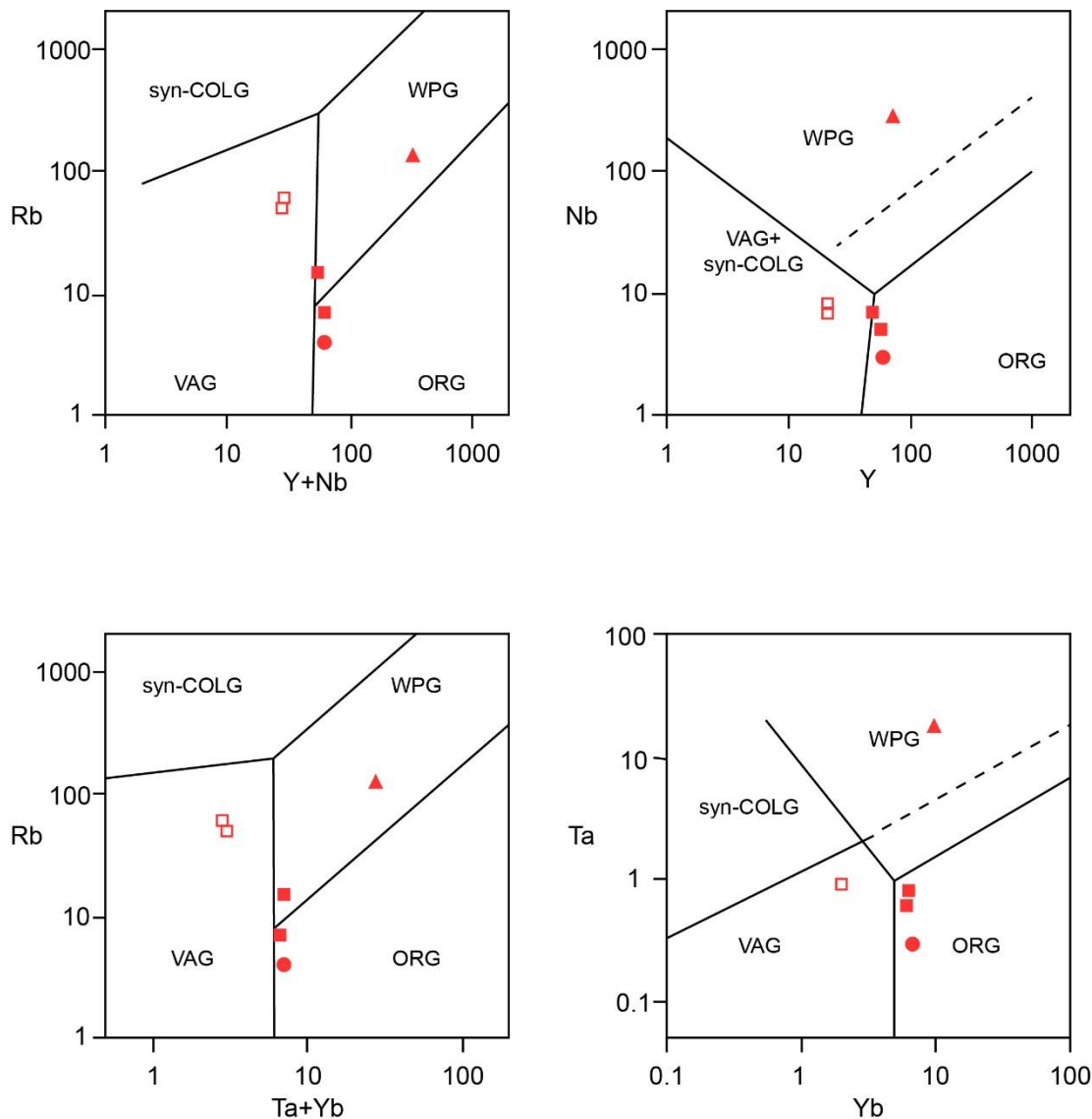


Figura 7.15 - Diagramas discriminantes Rb vs Y+Nb, Nb vs Y, Rb vs Ta+Yb e Ta vs Yb para as amostras félsicas (Pearce et al., 1984). Simbologia igual à da Fig. 7.1.

8 Geoquímica Isotópica

Em termos geoquímicos, o uso de isótopos radioativos tem 2 principais usos: a datação absoluta de rochas e/ou minerais, ou enquanto traçador geoquímico para identificação de processos e fontes das rochas em estudo (Rollinson, 1993). O termo isótopo é usado para descrever um nuclídeo, de determinado elemento (igual número de prótons), com um número variável de neutrões. Os isótopos podem ser classificados como estáveis ou instáveis, sendo que estes últimos tendem a gerar isótopos estáveis através de transformações espontâneas, responsáveis pela libertação de energia e partículas, num processo designado por decaimento radioativo (Dickin, 2005; Faure & Mensing, 2005). Este decaimento dá-se de forma exponencial, sendo que a taxa a que ele corre depende unicamente da natureza e estado energético do nuclídeo, sendo independente das condições físico-químicas a que este é sujeito. Como tal as taxas de decaimento podem ser usadas para calcular idades geológicas (Rollinson, 1993).

Tal como foi referido no capítulo das metodologias, as amostras em estudo foram alvo de análises isotópicas Rb-Sr e Sm-Nd, sendo os resultados dessas análises apresentados na tabela 8.1. O sistema Rb-Sr baseia-se no decaimento do isótopo radioativo de Rb, ^{87}Rb , através da emissão de uma partícula, de um anti-neutrino ($\bar{\nu}$) e energia (Q), para um isótopo de Sr estável, ^{87}Sr . Este sistema apresenta uma constante de decaimento de $1.42 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$, sendo tal equivalente a um tempo de semi-vida ($t_{1/2}$) de $48.9 \pm 0.4 \text{ Ma}$ (Dickin, 2005; Faure & Mensing 2005).

Por sua vez, o sistema isotópico Sm-Nd tem por base o decaimento do isótopo radioativo ^{147}Sm para um isótopo estável ^{143}Nd , através da emissão de uma partícula alfa (He) e energia (E). A taxa deste decaimento é de $6.54 \times 10^{-12} \text{ a}^{-1}$, o que corresponde a um tempo de semi-vida de 103Ma (Faure & Mensing, 2005).

Tabela 8.1 - Tabela com as razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ para $t = 0$, com os respetivos erros.

Amostra	Litologia	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Erro $2\sigma \cdot 10^{-6}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Erro $2\sigma \cdot 10^{-6}$
PMT-1	Félsica	8.600	0.078	0.7818	11	0.511873	6
PMT-2	Félsica	2.800	0.096	0.7448	19	0.511824	8
PMT-3	Félsica	0.340	0.078	0.7090	-	0.512354	10
PMT-5	Félsica	0.774	0.108	0.7193	5	0.512375	5
PMT-12A	Félsica	0.184	0.154	0.7103	6	0.512703	10
PMT-4	Básica	0.005	0.164	0.7070	6	-	-
PMT-6	Básica	0.012	0.119	0.7073	6	0.512913	5
PMT-7	Básica	0.064	0.125	0.7090	6	0.512852	6
PMT-8C	Básica	0.000	0.081	0.7051	7	0.512604	4
PMT-9A	Básica	0.003	0.147	0.7058	4	0.512905	4
PMT-9B	Básica	0.002	0.161	0.7058	4	0.512967	5
PMT-9C	Básica	0.034	0.200	0.7089	4	0.513081	5
PMT-11	Básica	0.009	0.168	0.7081	5	0.513031	7
PMT-12B	Básica	0.058	0.191	0.7120	6	0.512773	7
PMT-13	Básica	0.000	0.118	0.7065	4	0.512835	4
PMT-14	Básica	0.007	0.105	0.7060	5	0.512815	7
PMT-16	Básica	0.003	0.220	0.7066	5	-	-

8.1 Isócrona

O decaimento radioativo é descrito pela equação (8.1), na qual D corresponde ao número de isótopos filho em t, sendo t o tempo decorrido desde a formação da rocha, D_0 corresponde ao número de isótopos filho inicialmente, N consiste no número de isótopos pai em t e λ é a constante de decaimento (Faure & Mensing, 2005).

$$D = D_0 + N (e^{\lambda t} - 1) \quad (8.1)$$

Esta equação define também a reta, do tipo (8.2), gerada quando se projeta os valores medidos para as razões isotópicas radiogénicas contra as razões isótopo-pai/isótopo-filho de amostras cogenéticas, sendo que esta reta é designada por isócrona (Dickin, 2005). Nesta reta y corresponde ao nº de isótopos filho em t (D), b corresponde ao nº isótopos filho inicial (D_0), x corresponde ao nº de

isótopos pai em t e m (declive da reta) corresponde a $e^{\lambda t} - 1$. Como tal, conhecendo a constante de decaimento (λ), é possível calcular a idade da rocha (t) com base no declive (m) da reta obtida (isócrona).

$$y = mx + b \quad (8.2)$$

Para se calcular a idade com base numa isócrona, assume-se que o decaimento decorreu num sistema fechado, não havendo alteração da constante de decaimento. Como tal as razões medidas dependem única e exclusivamente dos valores iniciais e decaimento do isótopo radioativo (Faure, 1986; Faure & Mensing, 2005). No caso das rochas estudadas serem ígneas, a idade obtida corresponde à idade de cristalização. No caso de estas terem sido sujeitas a um evento metamórfico, tal pode (dependendo das temperaturas e pressões atingidas) provocar o resetting das razões isotópicas e, consequentemente, a idade obtida é a idade do evento metamórfico ou outra idade de mais complexa interpretação (Rollinson, 1993).

No que respeita às isócronas Rb-Sr (Fig. 8.1), observa-se que para as amostras metafélicas da região obtém-se uma idade de 596.1 Ma. Tal implica que a geração destas rochas se tenha dado durante o Ciclo Cadomiano, contudo esta idade pode corresponder a uma relíquia, uma vez que o número de amostras analisado é reduzido. De acordo com Faure & Mensing (2005), são necessárias as análises de pelo menos 5 amostras cogenéticas, sendo tal cumprido. No entanto deve-se ter em conta que, como foi referido no capítulo da geoquímica, estas 5 amostras félicas se subdividem por 2 grupos com propriedades geoquímicas ligeiramente diferentes. Tais diferenças podem estar relacionadas com processos na fonte que alterem as razões isotópicas iniciais. Por sua vez, para as amostras metabásicas obteve-se uma idade sem significado geológico de 4.96 Ga (Fig. 8.2). Tal idade resulta provavelmente do intenso metamorfismo Varisco que afetou a região, provocando a remobilização dos elementos em causa, levando a uma idade significativamente mais elevada que a real.

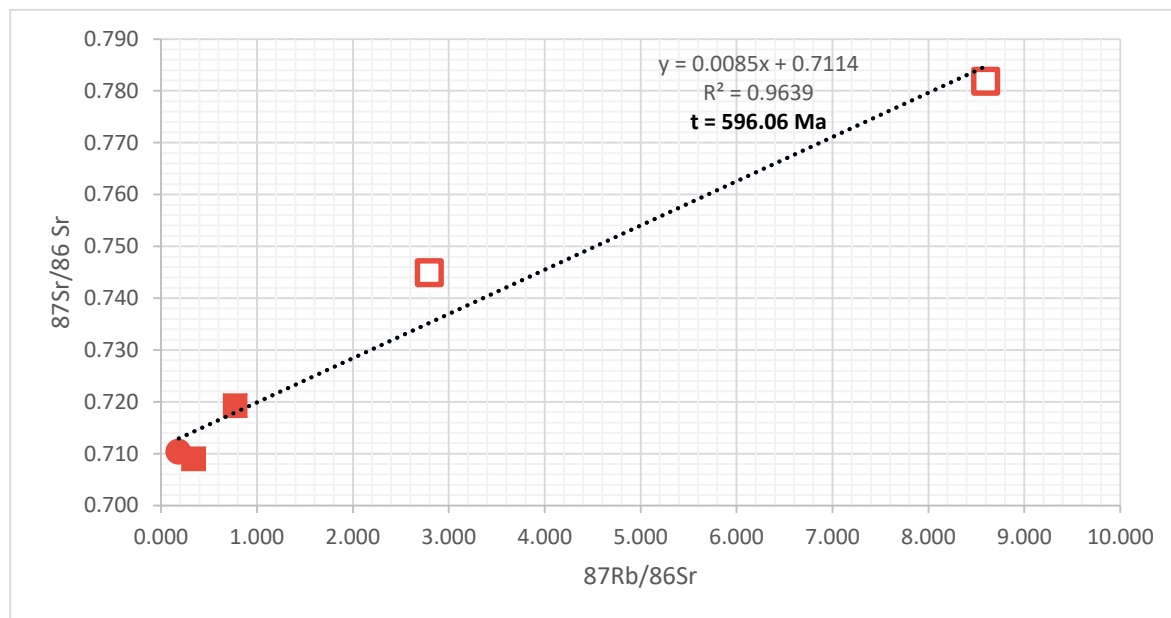


Figura 8.1 - Isócrona Rb – Sr para as amostras metafélicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.

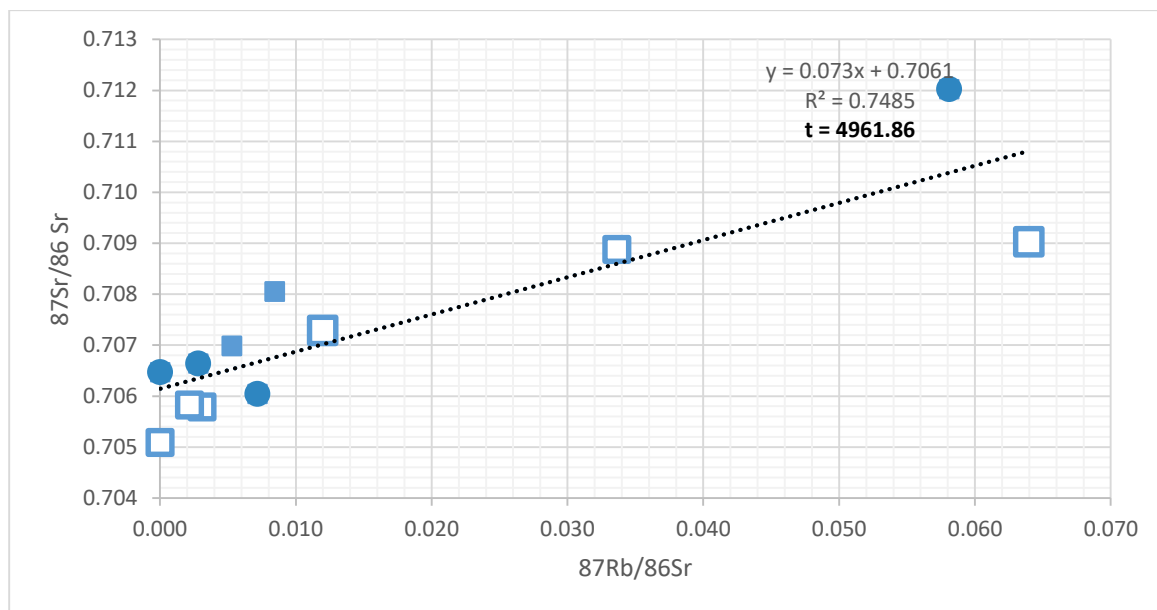


Figura 8.2 - Isócrona Rb – Sr para as amostras metabásicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.

Nas isócronas Sm-Nd (Fig. 8.3) obteve-se uma idade de 1.29 Ga para as amostras félsicas. No entanto as amostras evidenciam uma grande dispersão, aumentando assim o erro. Tal dispersão é um indicador de que o Sm e o Nd não permaneceram imóveis desde a formação da rocha. Por sua vez, para as amostras básicas (Fig. 8.4) obteve-se uma idade de 366.5 Ma, correspondendo assim a uma idade varisca. Contudo, nesta última isócrona verifica-se que 2 amostras (PMT-8C e PMT-12B) se afastam da tendência definida pelas restantes amostras. Como tal pode indicar que estas 2 amostras não estão geneticamente ligadas às restantes e, portanto, optou-se por projetar nova isócrona sem estas amostras, tendo-se obtido uma idade de 427.5 Ma (Fig. 8.5).

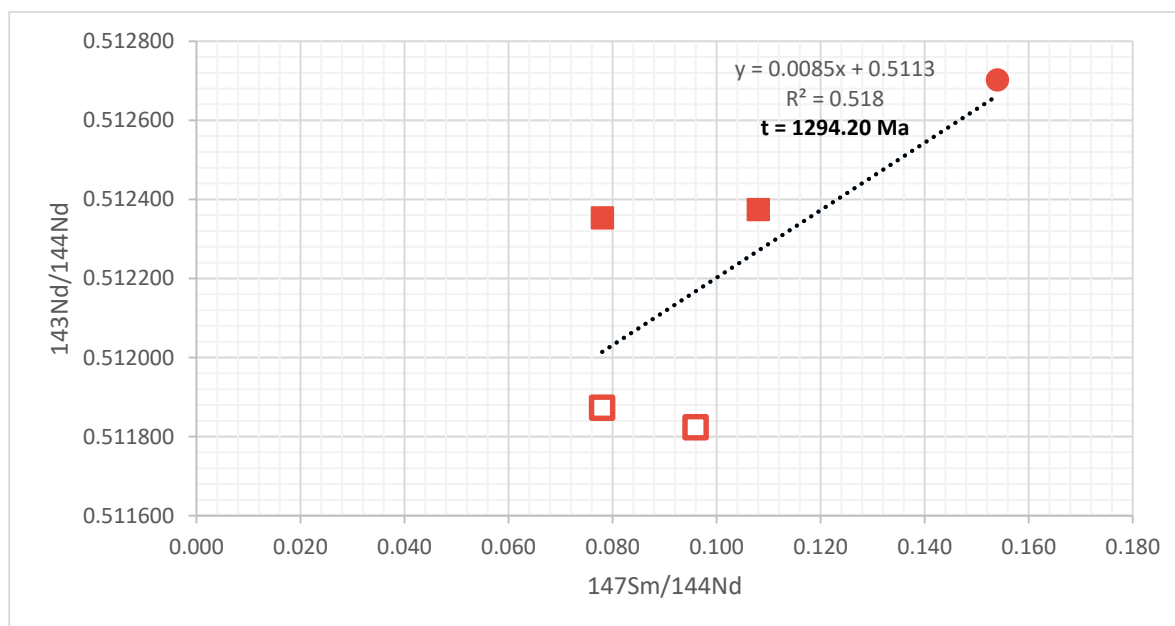


Figura 8.3 - Isócrona Sm – Nd para as amostras metafélsicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.

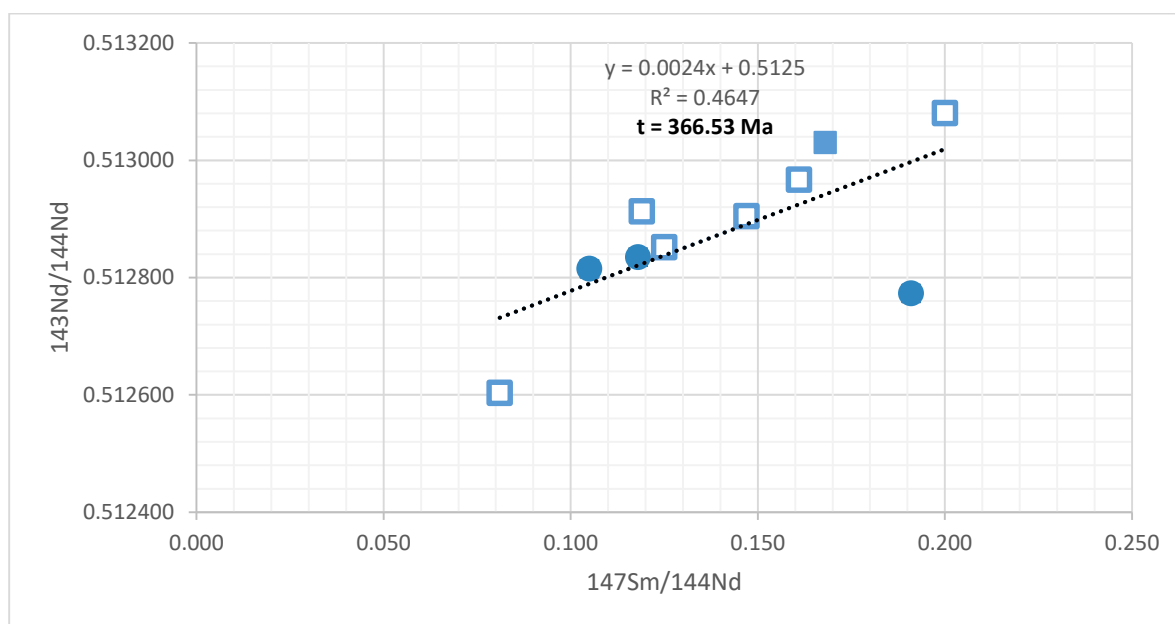


Figura 8.4 - Isócrona Sm – Nd para as amostras metabásicas. Simbologia igual à da Fig. 7.1.

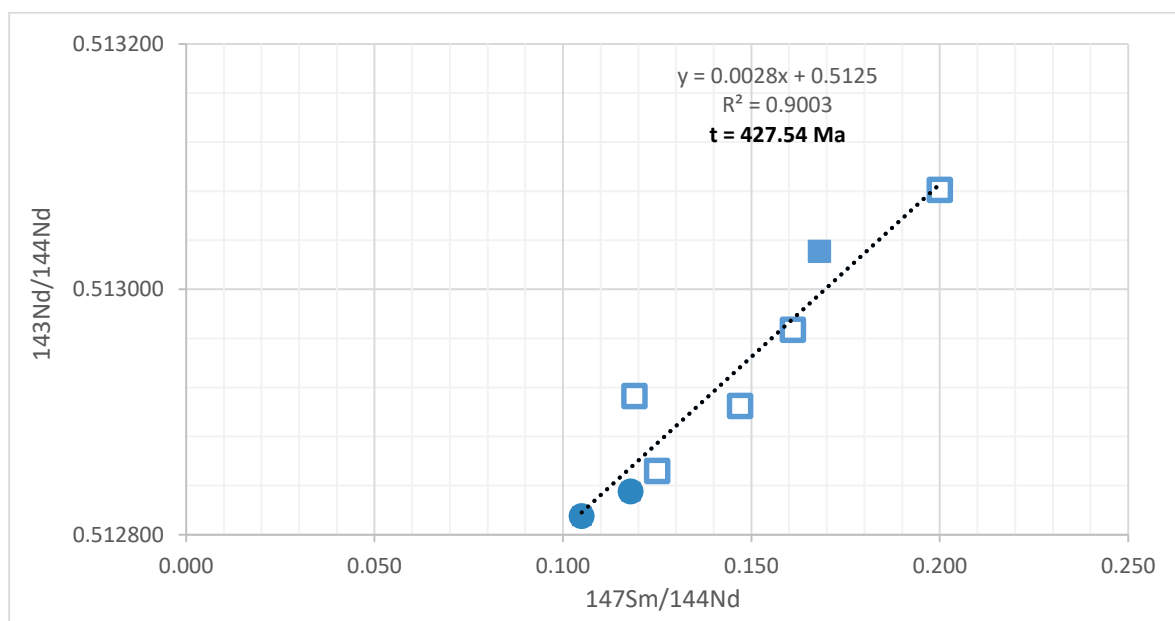


Figura 8.5 - Isócrona Sm – Nd para as amostras metabásicas, sem as amostras PMT-8C e PMT-12B. Simbologia igual à da Fig. 7.1.

8.2 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs ϵNd

Tal como foi referido anteriormente, o uso de sistemas isotópicos permite também identificar proveniências de reservatórios litosféricos, dado que as razões isotópicas são características da região fonte, pois tipicamente mantêm-se inalteradas durante eventos de fracionamento posteriores à extração do magma (Rollinson, 1993). Tipicamente nestes estudos petrogenéticos recorre-se conjuntamente aos

sistemas Rb-Sr e Sm-Nd, através da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e da notação ϵNd , respetivamente. Tal deve-se ao facto de, no caso do sistema Rb-Sr, o Rb ser mais incompatível que o Sr, o que leva a que o manto apresente razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ baixas, enquanto a crosta continental apresenta razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ tipicamente mais elevadas (ainda que mais variáveis). Por sua vez, para o sistema Sm-Nd têm-se o oposto, dado que o isótopo-filho, o Nd, é mais incompatível que o isótopo-pai, o Sm, o que leva a que o manto tenda a apresentar valores de ϵNd mais elevados que a crosta.

Os valores de ϵNd e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ foram calculados para 320 Ma (Tabela 8.2 e Fig. 8.5), uma vez que esta é a idade mínima tipicamente atribuída ao episódio metamórfico varisco que afetou a ZOM (Gomes & Fonseca, 2006). Os resultados obtidos evidenciam, à semelhança dos dados de litogeoquímica, a presença de 2 grupos distintos de amostras félsicas, com as amostras do sector de S. Bartolomeu do Outeiro e do sector da estrutura de Viana do Alentejo a apresentarem valores de ϵNd_i entre -0.7 e +3.0 e de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ entre 0.707 e 0.716. Por sua vez, as amostras de Oriola evidenciam valores de ϵNd_i fortemente negativos, variando entre -10.1 e -11.8, e valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ entre 0.732 e 0.743.

Tabela 8.2 - Tabela com a razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e ϵNd para $i = 320$.

Amostra	Litologia	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$	ϵNd_i
PMT-1	Félsica	0.743	- 10.1
PMT-2	Félsica	0.732	- 11.8
PMT-3	Félsica	0.707	- 0.7
PMT-5	Félsica	0.716	- 1.5
PMT-12A	Félsica	0.709	+ 3.0
PMT-4	Básica	0.707	-
PMT-6A	Básica	0.707	+ 8.6
PMT-7	Básica	0.709	+ 7.1
PMT-8C	Básica	0.705	+ 4.1
PMT-9A	Básica	0.706	+ 7.3
PMT-9B	Básica	0.706	+ 7.9
PMT-9C	Básica	0.709	+ 8.5
PMT-11A	Básica	0.708	+ 8.9
PMT-12B	Básica	0.712	+ 2.9
PMT-13	Básica	0.706	+ 7.1
PMT-14	Básica	0.706	+ 7.2
PMT-16	Básica	0.707	-

No caso das amostras básicas, estas apresentam valores muito próximos entre si, com os valores de ϵNd_i a variar entre +7.1 e +8.5 e de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ entre 0.706 e 0.709. Apenas as amostras PMT-8C, com um ϵNd_i de +4.7, e PMT-12B, com um ϵNd_i de +2.9 e uma razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ 0.712, fogem à norma, sendo que esta última encontra-se próxima das amostras félsicas com valores de ϵNd_i mais elevados.

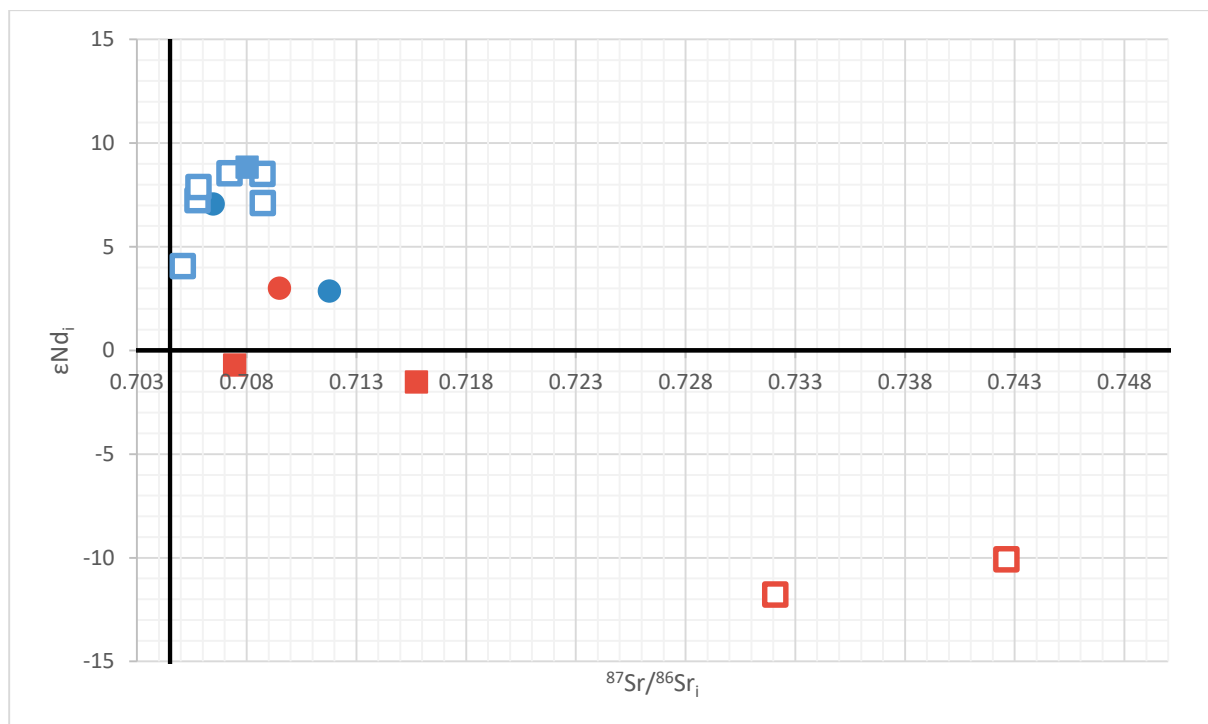


Figura 8.6 - Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ vs ϵNd_i para as amostras meta-vulcânicas de Viana do Alentejo. $i = 320$ Ma. Simbologia igual à da Fig. 7.1.

8.3 Idades Modelo

A idade modelo representa o tempo passado desde que a rocha foi removida do respetivo reservatório mantélico. As idades modelo apresentam a vantagem de poderem ser calculadas para amostras individuais, sendo que o cálculo destas idades implica a premissa que a razão Sm/Nd não foi alterada após a remoção do manto e que todo o material foi retirado num único evento.

Foram utilizadas as idades modelo referentes ao Manto Empobrecido (“*Depleted Mantle*”), T_{DM} , uma vez que se considera que estas são representativas da idade em que os protólitos das rochas em estudo foram retiradas do manto. Os valores das idades modelo foram corrigidos usando a razão $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ medida para a evolução isotópica até há 320 Ma (idade mínima para o episódio metamórfico que afetou a ZOM) e depois assumindo uma razão de 0.11 (valor típico para a crosta média – Taylor & McLennan, 1985) para a intersecção entre as amostras em estudo e a curva de evolução do manto empobrecido (Tabela 8.3).

Nas amostras félsicas obtiveram-se idades de cerca de 1.83 e 1.96 Ga para as amostras de Oriola e idades de aproximadamente 1.1 Ga para as amostras de S. Bartolomeu. A amostra PMT-12A apresenta a idade mais baixa de todas as rochas félsicas analisadas, com uma idade de aproximadamente 800 Ma.

Tabela 8.3 – Tabela com as idades modelo obtidas para as amostras em estudo.

Amostra	Litologia	T _{DM} (Ma)
PMT-1	Félsica	1827.0
PMT-2	Félsica	1959.3
PMT-3	Félsica	1091.2
PMT-5	Félsica	1155.3
PMT-12A	Félsica	799.9
PMT-4	Básica	-
PMT-6A	Básica	363.9
PMT-7	Básica	477.2
PMT-8C	Básica	717.0
PMT-9A	Básica	466.6
PMT-9B	Básica	416.3
PMT-9C	Básica	366.5
PMT-11A	Básica	340.3
PMT-12B	Básica	811.4
PMT-13	Básica	480.8
PMT-14	Básica	469.7
PMT-16	Básica	-

Tipicamente, para as amostras básicas não se calcula a sua idade modelo, pois em teoria esta deveria ser a sua idade de formação ou um valor muito próximo quando estas foram pouco afetadas por pós-formação. No entanto, porque a obtenção de idades absolutas para as amostras básicas se revela de difícil interpretação e para se poder fazer uma comparação com as idades modelo das amostras félsicas, estes valores foram calculados também para as amostras básicas. Verifica-se que as amostras básicas apresentam idades modelo que variam maioritariamente entre 340 e 470 Ma, com apenas as amostras PMT-12C e PMT-8 a apresentarem idades mais antigas, com 811 e 716 Ma, respetivamente.

9 Discussão

9.1 Petrogénese

Tal como foi referido no capítulo da Geoquímica as rochas metabásicas da região de Viana do Alentejo caracterizam-se pelo seu carácter toleítico e metaluminoso, enquanto as rochas metafélsicas, riólitos na sua maioria, denotam um carácter calco-alcalino e peraluminoso (Fig. 7.3).

Os riólitos revelam uma maior correlação à crosta superior, sendo evidente, em ambos os diagramas multi-elementares normalizados à crosta inferior e superior e no diagrama de REE (Fig. 7.9, 7.10 e 7.11, respetivamente), a existência de 2 grupos distintos, um grupo mais empobrecido em HREE e Y (grupo I), constituído pelas amostras do sector da estrutura de Oriola e outro mais enriquecido nestes mesmos elementos (grupo II), composto pelas amostras do setor de S. Bartolomeu do Outeiro e a amostra do sector da estrutura de Viana do Alentejo. Esta diferenciação entre amostras félsicas é igualmente notória nos diagramas Harker e classificativos (Fig. 7.2, 7.4 e 7.5), com as amostras do grupo I a evidenciarem um carácter mais silicioso e peraluminoso comparativamente às restantes. Este empobrecimento em HREE e o carácter peraluminoso mais acentuado das amostras do grupo I,

conjugados com os valores de ϵNd_i fortemente negativos (Tabela 8.2 e Fig. 8.6), aparentam reforçar a ideia de que estas rochas derivam da fusão da crosta superior.

Por sua vez, as amostras do grupo II apresentam valores de ϵNd_i muito menos negativos comparativamente às amostras do grupo I, com a amostra PMT-12A a apresentar valores já ligeiramente positivos. Tal, juntamente com um enriquecimento em HREE e um carácter peraluminoso menos acentuado aparenta indicar uma maior componente infra-crustal, uma maior influência mantélica ou fusão de materiais crustais com uma história evolutiva mais curta, tal como é passível de constatar pelos valores de ϵNd_i mais altos e as idades modelo mais jovens. As amostras do grupo II apresentam também uma assinatura anorogénica no diagrama de Pearce *et al.* (1984; Fig. 7.15), indicando assim uma génese em ambiente de *rifting*, contrariamente às amostras do grupo I, que se projetam no campo dos granitos de arco vulcânico, denotando assim uma assinatura orogénica. Tal aparenta sugerir à primeira vista que estes 2 grupos de rochas félsicas foram gerados em ambientes tectónicos distintos. No entanto, a presença de uma assinatura orogénica em rochas da ZOM com uma forte componente supra-crustal tem sido interpretada por vários autores (e.g. Sánchez-Garcia *et al.*, 2010) como sendo herdada do protólito (ver adiante). Tal implica que as rochas do grupo I terão uma maior influência do protólito relativamente às amostras do grupo II, tendo assim sido geradas numa fase mais primordial do episódio de *rifting*.

Tal como foi referido no parágrafo anterior, as amostras destes 2 grupos apresentam idades modelo distintas, com as amostras do grupo I a apresentarem idades modelo de cerca de 1.8 Ga, enquanto as amostras do grupo II apresentam idades na ordem dos 1.1 Ga (Tabela 8.3). Esta variação de idades pode estar associada ao grau de evolução das rochas, às idades de extração mantélica dos protólitos ou mistura relativa de fontes com idades modelo distintas nos protólitos. Como tal as amostras do grupo I, uma vez que evidenciam assinaturas da crosta superior, terão sido removidas do reservatório mantélico há mais tempo que as amostras do grupo II. Assim sendo, pode-se afirmar que as rochas do grupo I são mais evoluídas que as rochas do grupo II, reforçando assim a interpretação geodinâmica apresentada anteriormente para estas litologias. Esta diferença de idades modelo revela a existência de eventos orogénicos distintos, sendo as idades obtidas para as amostras do grupo I associadas ao ciclo Birimiano da à Orogenia Eburniana, enquanto as idades obtidas nas amostras PMT-3 e PMT-5 estariam associadas a um evento posterior, nomeadamente à orogenia Grenviliana relacionada com a formação do supercontinente Rodinia (1.4Ga – 900 Ma) ou, possivelmente, à mistura de fontes vindas da Orogenia Eburniana e outras mais jovens, como a Orogenia Cadomiana.

Por fim, a amostra PMT-17, proveniente do setor da estrutura de Portel-S. Lourenço, apresenta características geoquímicas completamente diferentes das restantes amostras félsicas da região de Viana do Alentejo, podendo-se considerar esta amostra fazendo parte de um grupo III, uma vez que não se enquadra em nenhuma das outras duas associações de rochas félsicas estabelecidas. Esta amostra denota um maior enriquecimento em REE comparativamente às restantes, bem como um maior enriquecimento em Nb e Ta. Esta amostra apresenta também uma assinatura anorogénica, projetando-se no campo dos granitos intra-placa no diagrama de Pearce *et al.* (1984), sendo tal assinatura tectónica e enriquecimento em REE e Nb tipicamente associados a uma maior influência mantélica. Como tal presume-se que esta amostra tenha sido gerada posteriormente às amostras do grupo I e II, aquando de uma fase mais avançada da fase de *rifting*.

No que respeita às rochas básicas, é importante salientar em primeiro lugar, que as amostras inicialmente classificadas no campo como calco-silicatadas, foram petrograficamente reclassificadas como metabásicas. Por sua vez, os dados geoquímicos mostram igualmente uma grande semelhança entre as amostras calco-silicatadas e metabásicas, suportando assim a reclassificação das primeiras. Esta semelhança, em termos macroscópicos, a amostras calco-silicatadas está muito provavelmente

associado à interação de algumas amostras metabásicas com fluidos carbônicos (ver adiante no capítulo 9.3)

Os diagramas multi-elementares das amostras metabásicas (Fig. 7.6 a 7.8) mostram um maior enriquecimento em LILE, comparativamente a HFSE, sendo também evidente uma maior correlação com E-MORB. Tal aparenta indicar uma fonte enriquecida para as rochas metabásicas de Viana do Alentejo. Contudo, a análise dos padrões de REE (Fig. 7.12) destas amostras evidencia a elevada variabilidade das razões $(La/Lu)_N$, variando desde padrões enriquecidos em LREE, típicos de E-MORB, a padrões enriquecidos em HREE, frequentemente associados a basaltos N-MORB.

A elevada variabilidade de $(La/Lu)_N$ das amostras metabásicas, identificada nos diagramas de REE, pode ter como causa três possíveis causas no que respeita aos petrogenéticos envolvidos: i) cristalização fracionada, ii) graus distintos de contaminação crustal, ou iii) heterogeneidade na fonte mantélica.

Para se averiguar quais destas causas terá afetado as amostras em estudo começou-se por projetar as razões $(La/Lu)_N$ vs #Mg (Fig. 9.1), de modo a averiguar se a variação das razões $(La/Lu)_N$ terá alguma correlação com a variação do grau de evolução das amostras (i.e. cristalização fracionada). Neste diagrama verifica-se que grande parte das amostras apresentam uma tendência linear com a exceção da amostra PMT-8C, a qual aparenta ter uma fonte diferente das restantes amostras, sendo tal evidente no diagrama de Pearce (2008) (Fig. 7.14) e no diagrama $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ vs ϵNd_i (Fig. 8.6). Assim sendo, pode-se afirmar que a cristalização fracionada terá tido um papel significativo na variação das razões $(La/Lu)_N$.

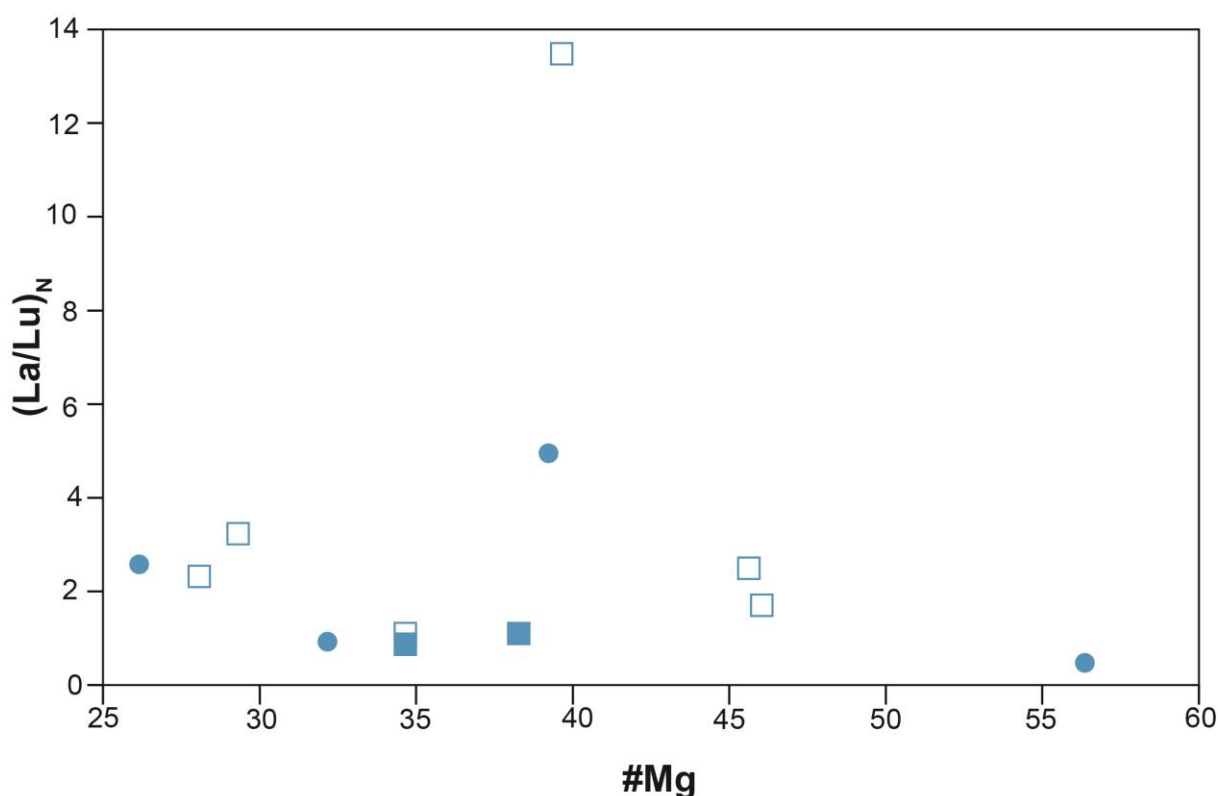


Figura 9.1 - Projeção da razão La/Lu (normalizada ao condrito segundo Sun & Mcdonough, 1995) vs #Mg. Simbologia igual à da Fig. 7.1.

Por sua vez, o enriquecimento em LILE das amostras metabásicas associado à presença de anomalias positivas de Pb e K (tipicamente enriquecidos na crosta) e negativas de P e Nb (tipicamente empobrecidos na crosta) aparenta indicar que estas rochas terão sido sujeitas a diferentes graus de contaminação crustal com participação de uma crosta heterogênea, num ambiente distensivo. Tal modelo de magmatismo em ambiente de *Rift* a *Rift-Drift* já havia sido proposto para explicar a gênese de outras rochas máficas na ZOM (e.g.: Araújo *et al.*, 2005; Chichorro, 2006). Este ambiente tectónico transtensivo é corroborado pelo magmatismo félsico de idade Câmbica (Série Terreneuviana 2), que está sempre associado espacialmente às rochas metabásicas (Chichorro *et al.*, 2008), bem como pelo desenvolvimento síncrono das bacias sedimentares em Rift expressa nas sequências sedimentares detríticas e carbonatadas (Oliveira *et al.*, 1991). Contudo, uma análise mais detalhada mostra que as amostras metabásicas apresentam razões de K/P e Ti/Yb inferiores a 7 e superiores a 1000, respetivamente, sendo que estes valores são típicos de amostras não contaminadas (Leeman & Hawkesworth, 1986; Brueseke & Hart, 2009; Tabela 9.1). Embora algumas amostras apresentem valores de K/P superiores a 7, tal está provavelmente associado ao episódio metamórfico varisco que afetou a ZOM, dada a elevada mobilidade destes 2 elementos, particularmente o K.

Tabela 9.1 - Tabela com as razões K/P e Ti/Yb das amostras básicas.

Amostra	K/P	Ti/Yb
PMT-4	16.03	3268.29
PMT-6	4.71	3920.43
PMT-7	7.90	4088.38
PMT-8C	0.19	10988.29
PMT-9A	4.99	4280.55
PMT-9B	5.28	3932.11
PMT-9C	82.18	3020.43
PMT-11	4.36	3139.67
PMT-12B	8.42	3609.77
PMT-13	0.58	4340.46
PMT-14	2.38	4752.61
PMT-16	10.46	3228.92

Assim sendo, resta apenas a possibilidade de heterogeneidade mantélica. Tal como referido anteriormente, os diagramas multi-elementares mostram uma maior correlação das rochas metabásicas com E-MORB, sugerindo assim uma fonte enriquecida. No entanto, os diagramas de REE (Fig. 7.12) e os diagramas discriminantes (Figs. 7.13 e 7.14) evidenciam a potencial presença de 2 fontes, dada a variação entre N e E-MORB observada. De modo a averiguar esta aparente heterogeneidade mantélica,

recorreu-se a diagramas de razões de elementos incompatíveis, uma vez que, de acordo com Saunders *et al.* (1988), tais razões não são significativamente alteradas por processos de cristalização fracionada ou fusão parcial, sendo, consequentemente, bons indicadores das características da fonte. No diagrama Ce/Yb vs La/Ta (Fig. 9.2) constata-se que grande parte dos metabasaltos de Viana do Alentejo projeta-se no campo do manto astenosférico, na região da espinela, com a exceção da amostra PMT-8C que se projeta no campo da granada, o que poderá indicar a presença de uma outra fonte. Tal é confirmado no diagrama Th/Yb vs Ta/Yb (Fig. 9.3), no qual é evidente a transição de uma fonte empobrecida, onde a maioria das amostras se projeta, para uma fonte enriquecida. Pode-se, portanto, afirmar que o enriquecimento variável em LREE dos metabasaltos de Viana do Alentejo relaciona-se com processos de cristalização fracionada e com heterogeneidades mantélicas, sendo que a presença de 2 fontes, uma empobrecida e uma enriquecida, já havia sido descrita para outras rochas básicas do sector Montemor-Ficalho da ZOM (e.g. Pedro, 2004; Chichorro, 2006).

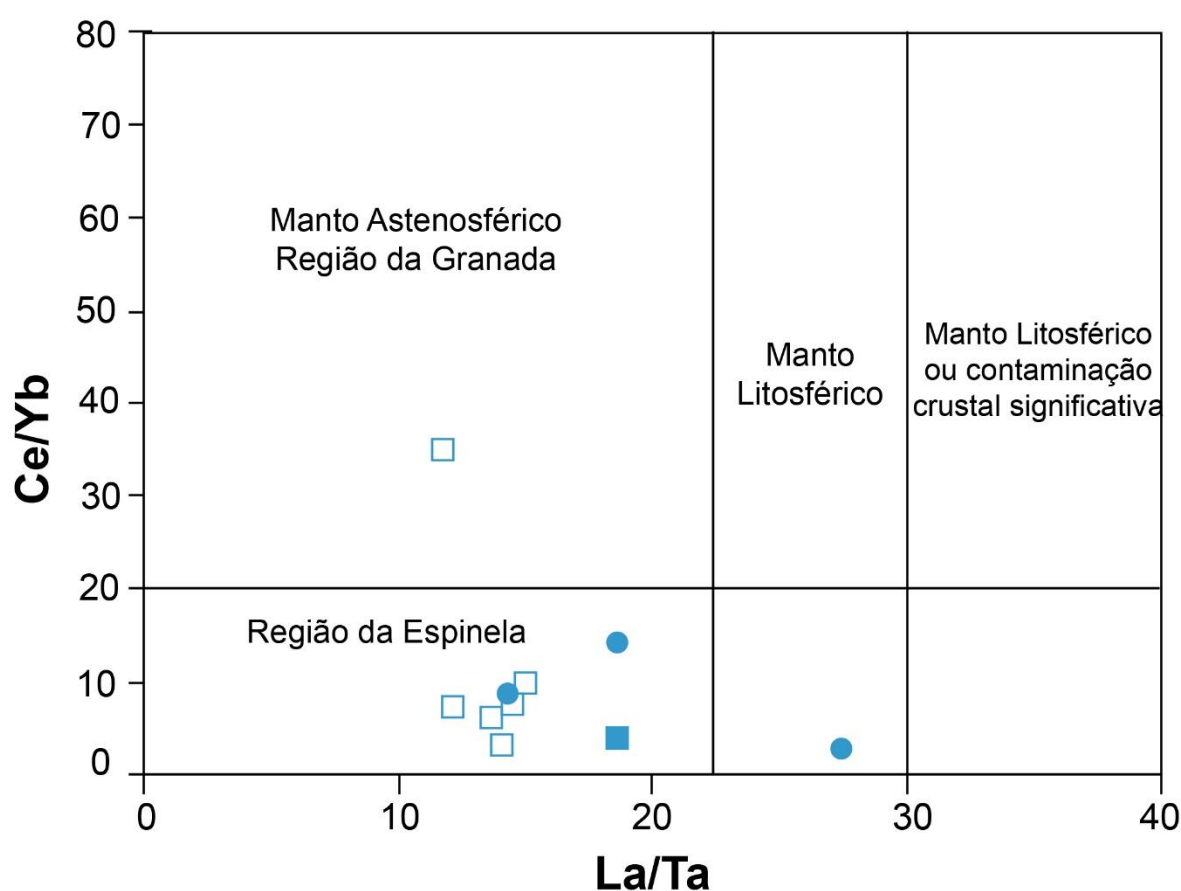


Figura 9.2 - Diagrama Ce/Yb vs La/Ta para os metabasaltos de Viana do Alentejo. Simbologia igual à da Fig. 7.1.

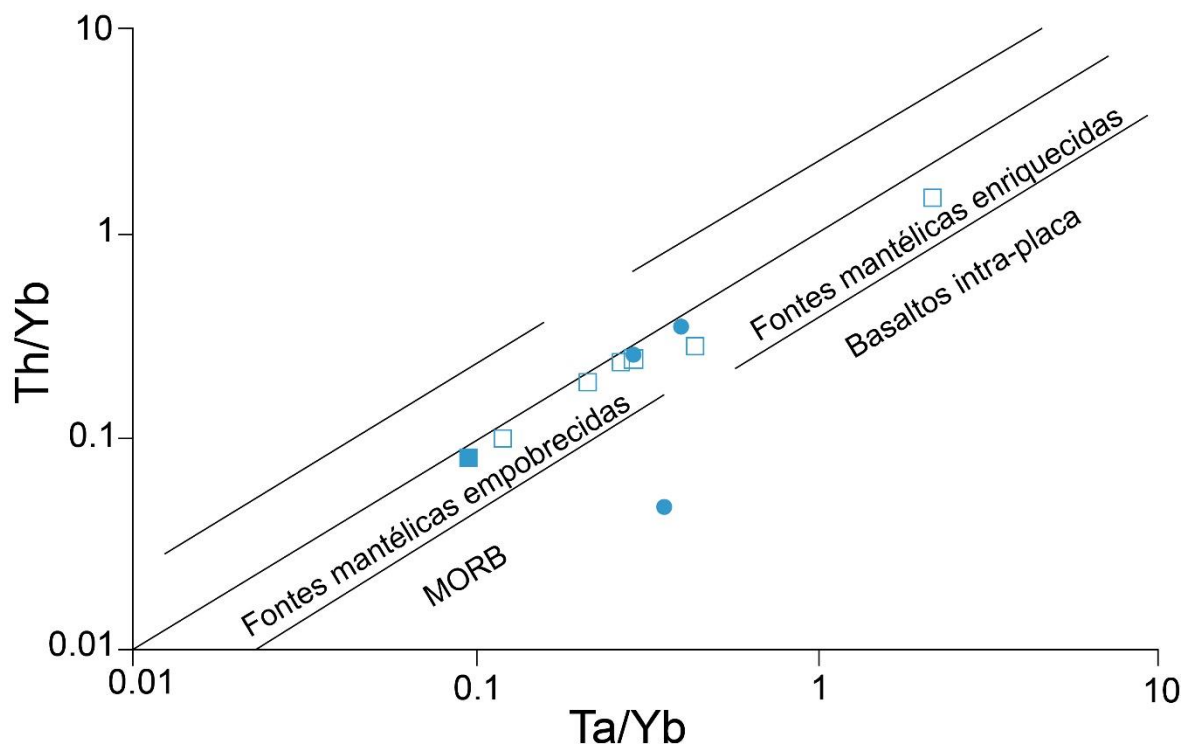


Figura 9.3 - Diagrama Th/Yb vs. Ta/Yb para os metabasaltos de Viana do Alentejo. Diagrama adaptado de Pearce (1982) e Wilson (1989). Simbologia igual à da Fig. 7.1.

A variação entre assinaturas E-MORB e N-MORB é menos evidente nos isótopos que nos dados geoquímicos de rocha total, uma vez que estes, com a exceção das amostras PMT-8C e PMT-12B, apresentam valores de ϵNd_i similares, muito elevados e típicos de fontes N-MORB. No caso da amostra PMT-8C, esta apresenta valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ muito próximos dos valores médios do manto, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.703$, sugerindo assim que os valores de ϵNd_i mais baixos resultam de uma fonte mantélica mais primitiva. Por sua vez, a amostra PMT-12B, apresenta valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ e de ϵNd_i relativamente próximos dos valores da amostra félsica PMT-12A, sugerindo, tal como nos dados geoquímicos, que esta amostra apresenta uma maior contribuição crustal. Contudo, os valores de ϵNd_i desta amostra félsica são consideravelmente mais elevados relativamente às restantes amostras félsicas, sendo tal tipicamente associado à incorporação de componentes máficos. Uma possível justificação para a proximidade das assinaturas isotópicas destas duas amostras é que, aquando da sua instalação (num estado parcialmente líquido), tenham interagido uma com a outra, num processo de *mixing*. Tal é suportado pelas idades modelo obtidas, uma vez que a amostra PMT-12B (811.4 Ma) apresenta a idade mais antiga das amostras básicas e a amostra PMT-12A apresenta a idade mais recente das félsicas (799.9 Ma).

Pode-se assim afirmar que as rochas básicas estudadas, dado o seu carácter toleítico e assinatura anorogénica, correspondem a rochas com assinatura oceânica, denotando a atuação de processos de cristalização fracionada e também a contribuição de *melts* de fontes variáveis e heterogéneas. A presença de uma amostra com uma assinatura crustal sugere que talvez estas amostras máficas tenham sido geradas nas fases iniciais de rifting, havendo ainda alguns vestígios de crosta continental.

9.2 Evolução magmática

A interpretação dos diagramas de Harker permite obter uma informação considerável sobre os processos responsáveis pela evolução magmática. Nos diagramas de Harker (Fig. 7.4 e 7.5) obtidos para as amostras em estudo é possível observar que as amostras básicas e ácidas constituem 2 grupos distintos, não apresentando qualquer correlação. Tal indica que estas duas litologias não estão incluídas no mesmo episódio de diferenciação magmática, estando este facto igualmente manifestado nos diagramas de elementos incompatíveis, nos quais também não se denota qualquer correlação. Por sua vez, entre as rochas félsicas é também evidente que a amostra PMT-17 apresenta valores por vezes significativamente distintos das restantes, sendo tal particularmente visível nos elementos mais incompatíveis como Nb e Zr. Tal indica que esta amostra não terá sido gerada no mesmo evento magmático que as restantes amostras félsicas, o qual também é corroborado pelos diagramas discriminantes e padrões de REE.

Nos diagramas de Harker para elementos maiores (Fig. 7.4) observam-se, nas amostras básicas, correlações lineares positivas, relativamente a SiO_2 , com TiO_2 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 e FeO_t , e negativas com CaO , Al_2O_3 e MgO . Os declives positivos de K_2O e Na_2O podem ser consequência da acumulação destes elementos no magma, sendo incorporados em fases mais tardias tais como feldspatos alcalinos. Esta cristalização tardia terá sido igualmente responsável pelos declives positivos de Rb e Ba, uma vez que estes elementos apresentam comportamentos químicos semelhantes a Na, tendendo a substituí-lo na estrutura dos feldspatos. As correlações positivas com FeO_t e TiO_2 terão igualmente sido causadas pela acumulação destes elementos no magma, sendo posteriormente incorporados em fases tardias de óxidos de Fe e Ti (e.g. ilmenite ou minerais ferromagnesianos mais ricos em ferro). Por sua vez, as correlações negativas resultam possivelmente da fracionamento de plagioclase cálcica, no caso do CaO e Al_2O_3 , e de olivina e/ou piroxena, no caso de MgO . A fracionamento de plagioclase terá sido igualmente responsável pela tendência negativa de Sr, uma vez que este elemento tende a substituir o Ca na estrutura da plagioclase. Esta fracionamento de olivina e plagioclase cálcica sugere que as amostras básicas estudadas terão resultado de magmas mais evoluídos.

No que respeita às litologias félsica é necessário ter em conta que, tal como foi referido no capítulo anterior, estas se subdividem por 3 grupos gerados a partir de porções distintas da crosta. Assim sendo, o baixo número de amostras nos grupos I (PMT-1 e PMT-2) e III (PMT-17) torna virtualmente impossível definir quaisquer tendências significativas nos diagramas Harker. Para as amostras do grupo II (PMT-3, PMT-5 e PMT-12A) observam-se tendências positivas com TiO_2 , K_2O e Rb e negativas com Al_2O_3 , Na_2O e FeO_t . As correlações negativas com Al_2O_3 , Na_2O são provavelmente o resultado da fracionamento de plagioclase sódica, enquanto o declive negativo no FeO_t poderá estar associado à fracionamento de óxidos de Fe (e.g. magnetite). Por sua vez, as correlações positivas para TiO_2 e K_2O poderão ser resultado da incorporação destes elementos em fases minerais tardias, nomeadamente biotite, ilmenite e feldspato alcalino, respetivamente. A cristalização tardia de feldspato alcalino é igualmente responsável pela correlação positiva de Rb nos riólitos, uma vez que este elemento apresenta um comportamento semelhante ao K. É, no entanto, importante salientar que estas tendências são definidas por apenas 3 amostras, não podendo estes resultados vistos como conclusivos.

9.3 Metamorfismo e metassomatismo

A evolução metamórfica do SW da ZOM é marcada por três eventos metamórficos principais. No Devónico Superior (370 – 360 Ma) ocorre um evento metamórfico de alta pressão (HP-LT), associado à subducção do oceano Rheic (D1), no qual foram atingidas fácies eclogíticas e dos xistos azuis (Pedro,

1996; Leal, 2001; Moita et al., 2005; Oliveira, 2020). Posteriormente, no Carbonífero esta região é fortemente afetada por um episódio metamórfico de alta temperatura e baixa a média pressão (HT-L/MP), o qual se encontra associado ao episódio extensional intra-orogénico (D2), tendo sido atingidas fácies anfibolíticas/granulíticas (Abalos et al., 1991b; Eguiluz et al., 2000; Díaz Azpíroz, 2006; Díaz Azpíroz et al., 2006; Pereira et al., 2007, 2012). Por fim, durante a etapa final da colisão varisca (colisão continental - D3) o SW da ZOM terá sido sujeito a condições de baixo grau metamórfico (fácies dos xistos verdes), responsáveis por fenómenos de retrogradação (Dias da Silva et al., 2018).

Tal como foi referido no capítulo da Petrografia, as amostras metabásicas abordadas nesta tese foram subdivididas em 2 grupos, amostras anfibolíticas e xistos verdes, com base nas suas paragéneses minerais. A presença conjunta de clinopiroxena (diópsido) e de granada em algumas das amostras anfibolíticas (PMT-4, PMT-9C e PMT-9E) pode ser interpretada como um indicador de que estas atingiram o pico metamórfico no topo da fácies anfibolítica. No entanto, a piroxena, e especialmente a granada (cálcica), estão nestes anfibolitos aparentemente associadas a uma maior abundância de filonetes, veios de carbonato e calcite disseminada nessas mesmas amostras. Assim, é expectável que a circulação tardia de fluidos carbónicos possa ter dado origem a estas paragéneses tardias, uma vez que o influxo de CO₂ tende a tornar a anfibola instável a temperaturas mais baixas que o tipicamente encontrado aquando da passagem da fácies anfibolítica para a fácies granulítica. Este *breakdown* parcial de anfibola em piroxena e granada ocorre num processo semelhante ao descrito para a formação de charnockitos de origem metassomática (Bento dos Santos, 2008; 2018, Bento dos Santos et al., 2011a, 2011b; e referências inclusas). Esta transformação da anfibola é menos evidente na amostra anfibolítica PMT-11, a qual ainda assim, mostra a presença de filonetes e uma matriz recristalizada que sugere circulação de fluidos metassomáticos.

Estes fluidos carbónicos são o provável resultado da atuação do evento metamórfico de alta temperatura na proximidade de rochas carbonatadas, as quais, quando sujeitas a temperaturas elevadas, libertam fluidos ricos em CO₂ e Ca por processos de desvolatilização (descarbonatação) (Winter, 2014). Consequentemente, muitas fases minerais das amostras anfibolíticas abordadas nesta dissertação encontram-se fortemente enriquecidas em Ca. O carácter cálcico das granadas é evidenciado pela preponderância das componentes grossularíticas e andradíticas nas análises químicas efetuadas nas granadas da amostra PMT-4, sendo também evidenciado em termos petrográficos nas granadas da amostra PMT-9C, dada a coloração verde que estas ocasionalmente apresentam, estando tal tipicamente associado a um enriquecimento em Ca (Rogers & Kerr 1942). Em termos macroscópicos, as granadas desta amostra dispõem-se ao longo de veios centimétricos, reforçando assim a ideia de que a circulação de fluidos terá tido um papel importante na geração das granadas. As granadas e piroxenas presentes nos anfibolitos desta tese apresentam composições químicas muito semelhantes às composições obtidas em outras rochas da região de Alvito-Viana do Alentejo, tais como os mármore calcíticos e escarnitos de Gomes & Fonseca (2006) e as amostras metabásicas granatíferas de Almeida et al. (2017). Neste último caso as amostras metabásicas correspondem a eclogitos, indicando assim que estas terão sido afetadas pelo metamorfismo de alta pressão, associado à subducção do Rheic, antes do episódio metamórfico/metassomático responsável pelo enriquecimento em Ca. Tal não é o caso nas amostras abordadas nesta tese, uma vez que não foram identificadas quaisquer fases minerais de alta pressão, tais como onfacite ou clinozoisite, pelo que se assume que estas amostras não estiveram envolvidas no processo de subducção. Para além da ausência de clinozoisite, os epídotos analisados (nos xistos verdes e anfibolitos) apresentam uma forte componente pistacítica, típica da fácies dos xistos verdes. Contudo, a presença de algum epídoto em amostras anfibolíticas está certamente associada a fenómenos de retrogradação, aquando do episódio metamórfico associado à colisão continental.

No que respeita às amostras metafélicas, a ausência de minerais índice nas paragéneses observadas, dominadas por Qz + Plag + Musc, não permitem estipular com clareza uma fácies

metamórfica. Reconheceu-se a presença de veios de clorite na amostra PMT-12A, os quais estão provavelmente associados à circulação tardia de fluidos metassomáticos, aquando do evento metamórfico, provavelmente de baixa temperatura. Uma outra potencial evidência da atuação de processos metamórficos nas amostras félsicas é a orientação das micas nas amostras de Oriola, sendo tal também observado nas amostras metassedimentares. Nas amostras metassedimentares, mais especificamente na amostra PMT-10, indentificou-se também a presença de cordierite e andaluzite, fases estas que aparentam crescerem numa matriz granolepidoblástica. Tal sugere que a formação da cordierite e andaluzite resulta da atuação de metamorfismo de contacto, que atendendo à localização desta amostra (ver Fig. 3.1) está provavelmente associado à intrusão de granitoides variscos.

9.4 Enquadramento na evolução geodinâmica da ZOM

Com vista a compreender o enquadramento geodinâmico das amostras em estudo no seio do Ciclo Varisco da ZOM, procedeu-se à comparação e correlação das amostras da região de Viana do Alentejo com rochas ígneas petrograficamente similares presentes noutros sectores da ZOM.

No que respeita às amostras riolíticas do grupo I, verifica-se que estas apresentam características geoquímicas bastante semelhantes aos vulcanitos félsicos associados ao *early rift* estudadas por Sánchez-García *et al.* (2010; Fig. 9.3A). Estes vulcanitos félsicos estão presentes nos complexos Vulcano-sedimentares de Bodonal-Cala (Hernández Enrile, 1971), em Espanha, de Freixo-Segovia, Nave de Grou-Azeiteiros e São Vicente, em Portugal (Pereira & Silva, 2006; Sánchez-García *et al.*, 2010), sendo este magmatismo cogenético com a formação detrítica de Torreárboles (Liñán, 1978), em Espanha e seus equivalentes arcósicos em Portugal (Sánchez-García *et al.*, 2010; Sánchez-García *et al.*, 2020). No geral, estas rochas ígneas correspondem a rochas sub-alcálinas, com um carácter peraluminoso a metaluminoso. No que respeita a elementos traço, as amostras estudadas por Sánchez-García *et al.* (2010) apresentam anomalias negativas de Nb, Sr e Ti, bem como um empobrecimento em HREE ($HREE_t = 7.3-15.7$) semelhante aos riólitos do grupo I, com as amostras S1 e S4 de Sánchez-García *et al.* (2010) a apresentarem um padrão de REE muito semelhante às amostras do grupo I. Por sua vez, os granitos de Salvatierra de Los Barros e alguns dos granitos do maciço de Barreiros, estudados por Sánchez-García *et al.* (2014) também apresentam padrões de REE semelhantes aos riólitos do grupo I.

Em termos isotópicos, as amostras S3 e S4 de Sánchez-García *et al.* (2010) apresentam valores de ϵNd muito negativos e idades modelo entre 1.72 e 1.8 Ga, à semelhança do que se verifica nas amostras do grupo I (Fig. 9.4), evidenciando assim também uma forte assinatura supra-crustal. De acordo com Sánchez-García *et al.* (2010, 2014), as rochas félsicas de *early-rift*, presentes nos complexos vulcano-sedimentares anteriormente referidos, terão resultado em grande parte da fusão de crosta cadomiana. Esta fusão da crosta é responsável pela assinatura de arco vulcânico evidenciada em muitas amostras félsicas *early-rift* nos diagramas tectónicos de Pearce *et al.* (1984), como é o caso das amostras do grupo I de Viana do Alentejo, uma vez que tal assinatura é incompatível com o ambiente extensional atribuído às rochas do Câmbrio inferior. Como tal, de acordo com estes autores, o carácter orogénico destas rochas é herdado do protólito e não resultante dos processos responsáveis pela génese das rochas.

A ideia de que a assinatura orogénica das amostras do grupo I é herdada é ainda mais evidente quando se compara a geoquímica destas amostras com a das amostras félsicas cadomianas, como as estudadas por Henriques (2013) (Fig. 9.5). Estas amostras cadomianas apresentam um padrão de REE idêntico observado para as amostras de *early-rift* de Sánchez-García *et al.* (2010) e das amostras do grupo I, apresentando também elevadas razões $(La/Lu)_N$. As amostras cadomianas apresentam também

valores ϵNd muito negativos. Tais semelhanças podem também ser interpretadas com sugerindo a possibilidade das amostras do grupo I serem cadomianas.

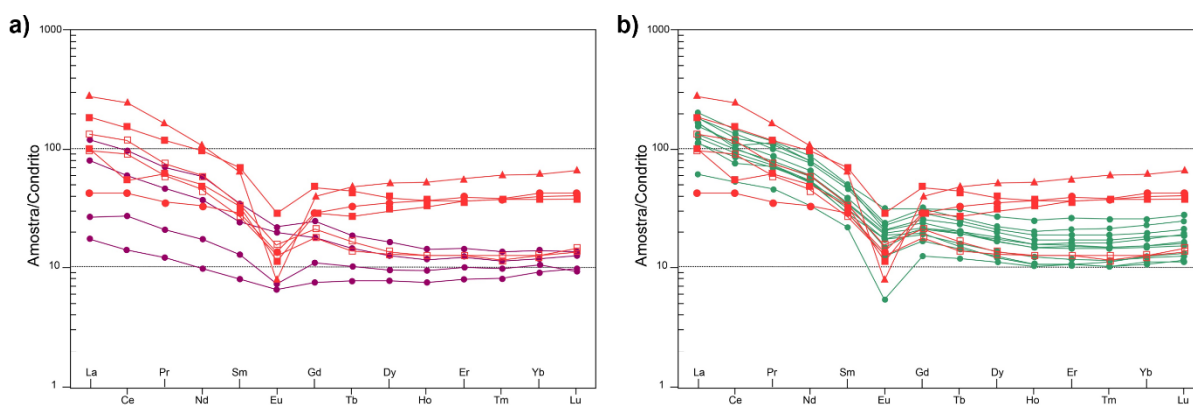


Figura 9.4 - Comparação dos padrões de REE dos grupos de rochas félsicas de Viana do Alentejo (simbologia igual à Fig. 7.1) com: A - Amostras félsicas de *early rift* (●) de Sánchez-García *et al.* (2010); B – Amostras félsicas do Complexo Ígneo do Sardoal (●) de Henriques (2013) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough & Sun (1995).

Por sua vez, as amostras do grupo II apresentam um padrão de REE muito semelhante ao observado nos leptinitos do Escoural (Chichorro, 2006; Chichorro *et al.*, 2008; Fig. 9.5) incluídos no Complexo Ígneo-Sedimentar (essencialmente félsico) do Monfurado na Zona de Cisalhamento de Montemor-o-Novo, nos plutonitos graníticos do maciço de Calera e em algumas amostras do maciço de Barreiros, em Espanha, estudados por Sánchez-García *et al.* (2014; Fig. 9.6). Estas rochas ígneas extrusivas e sub-intrusivas resultam também do episódio de *early rift* que afetou a ZOM durante o Câmbrio inferior, correspondendo, à semelhança do que se verifica nas amostras riolíticas do grupo I e II de Viana do Alentejo e em outras amostras de *early rift* da ZOM (e.g. Sánchez-García *et al.*, 2003, 2008a, b, 2010), a rochas calco-alcálinas, maioritariamente peraluminosas, com um maior enriquecimento em LREE relativamente a HREE e demonstrando uma maior correlação com a crosta superior, apresentando anomalias negativas de Nb, Sr e Ti.

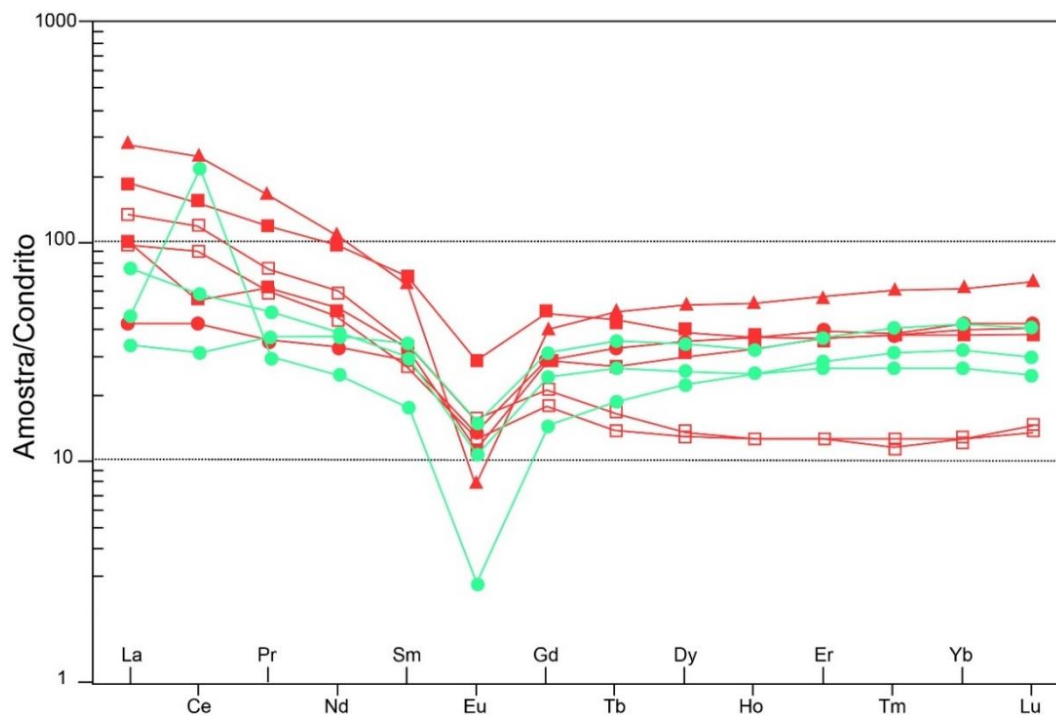


Figura 9.5 - Comparação dos padrões de REE dos grupos fêlsicas de Viana do Alentejo (simbologia igual à Fig.7.1) com Leptinites do Escoural (●) de Chichorro (2006) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough & Sun (1995).

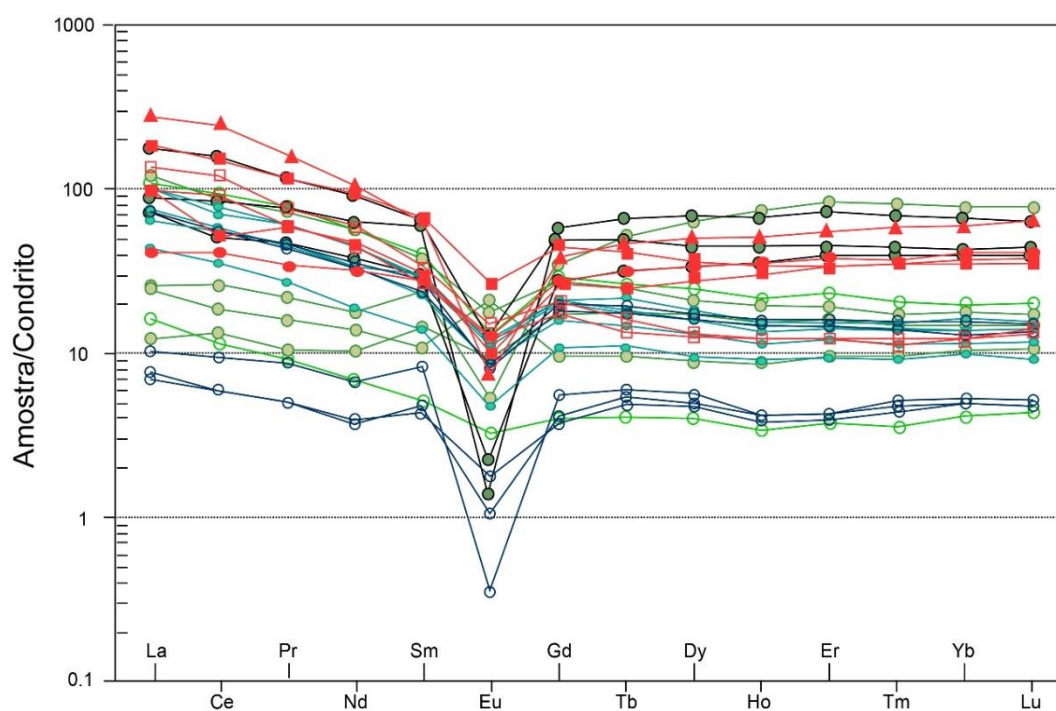


Figura 9.6 - Comparação dos padrões de REE dos grupos fêlsicas de Viana do Alentejo (simbologia igual à Fig.7.1) com os plutonitos de Calera (●), Tablada (○), S.Barros (●), Barquete (○) e Barreiros (●) de Sánchez-García et al. (2014) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough & Sun (1995).

Em termos isotópicos, os riólitos do grupo II apresentam valores de ϵNd_i superiores aos leptinites do Escoural (Fig. 9.7). Tal sugere que os riólitos apresentam uma maior componente

mantélica, tendo assim uma génese mais tardia que os do grupo I. Por sua vez, as amostras plutónicas de Salvatierra de Los Barros, Tablada e Barreiros apresentam também assinaturas intermédias entre as assinaturas do grupo I e II. Tal conjugado com o facto de algumas amostras do maciço de Barreiros apresentarem padrões REE semelhantes aos riólitos do grupo I, enquanto outras mostram afinidade com aos riólitos do grupo II, aparenta sugerir que as amostras deste maciço terão sido geradas antes das amostras do grupo II, sendo tal confirmado pelos dados geocronológicos (ver adiante). Já a amostras do maciço de Calera apresenta valores de ϵNd_i ligeiramente positivos, mais próximos dos valores das amostras do grupo II. Para justificar estes valores, Sánchez-García *et al.* (2014), à semelhança do que foi inferido para as amostras do grupo II no capítulo da discussão petrogenética, invoca uma maior componente infra-crustal ou uma maior influência mantélica para justificar estes valores.

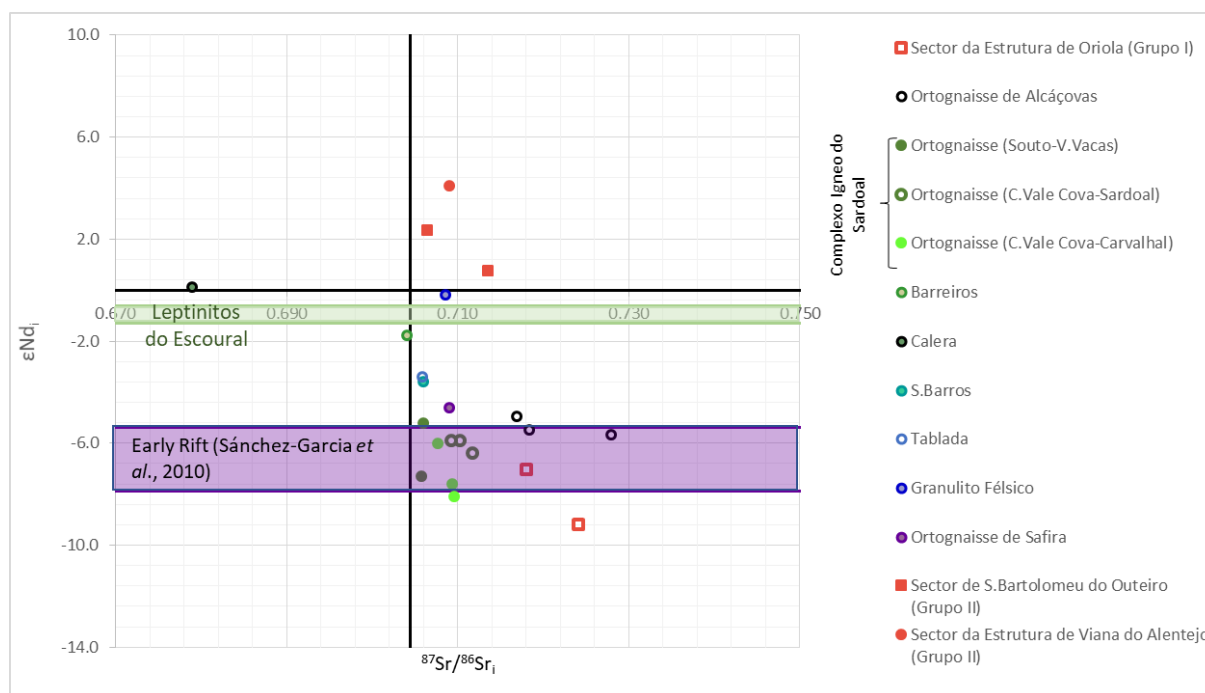


Figura 9.7 - Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs ϵNd comparando as assinaturas isotópicas dos riólitos de Viana do Alentejo, cujos dados foram recalculados para $t = 520$ Ma, com os ortognaisses do Complexo Ígneo do Sardoal de Henriques (2013) (Ortognaisse de Souto – V. Vacas para $t = 692$ Ma, ortognaisse de C. Vale Cova – Sardoal para $t = 548$ Ma, Ortognaisse C. Vale Cova – Carvalho para $t = 569$ Ma), as amostras Maciços plutónicos de Calera, S. Barros e Tablada para $t = 520$ Ma e do maciço de Barreiros para $t = 525$ Ma de (Sánchez-García *et al.* (2014), granulito félsico e ortognaisse de Safira de Oliveira (2020) para $t = 520$ Ma, os leptinitos do Escoural de Chichorro *et al.* (2008) para $t = 500$ Ma e amostras de early rift de Sánchez-García *et al.* (2010) para $t = 530$ Ma.

Assim sendo, ambos os riólitos do grupo I e II encaixam no modelo de rifting pós-cadomiano proposto por Sánchez-García *et al.* (2003, 2008a, b, 2010), segundo o episódio magmático de *early rift* tem origem numa anomalia térmica no manto imediatamente abaixo da placa Gondwânica, a qual resulta, de acordo com estes autores, da colisão e consumo de um rift-médio oceânico ao longo da zona de subducção cadomiana. Tal colisão teria colocado uma porção astenosférica na placa superior, provocando uma grande instabilidade gravitacional que despoletou uma deformação extensional. Segundo estes autores, os magmas gerados nas fases iniciais do *rifting* do Câmbrio inferior terão tido uma forte contribuição crustal, responsável pela assinatura orogénica, tal como foi referido anteriormente. Como tal, é justo assumir que os riólitos do grupo I foram gerados numa fase primordial

do *rifting* intra-continental. Por sua vez, rochas com assinatura anorogénica, como se verifica nas amostras do grupo II, terão sido geradas, de acordo com Sánchez-García *et al.* (2014), numa fase mais avançada do *rifting*. Dados geocronológicos obtidos para os leptinitos do Escoural, amostras geoquimicamente similares aos riólitos do grupo II, indicam idades entre os 524Ma e os 516Ma (Chichorro *et al.*, 2008), similar à idade do granito do maciço de Barreiros (524.7 ± 0.7 Ma) (Sánchez-García *et al.*, 2014). Dados geocronológicos obtidos em rochas félsicas de Bodonal, geradas nas etapas primordiais do *rifting* pós-cadomiano, apontam para idades de cerca de 530 Ma (Romeo *et al.*, 2006; Ordóñez Casado, 1998), confirmando assim a sequência cronológica proposta para as rochas de Viana do Alentejo. As amostras riolíticas de Viana do Alentejo foram também comparadas com o ortognaisse de Alcáçovas (Telhado, 2018) e com o ortognaisse de Valverde (Chichorro *et al.*, 2008; Fig. 9.8). Estas amostras correspondem também a rochas calco-alcalinas, peraluminosas e com assinaturas orogénicas a anorogénicas, apresentando um enriquecimento em HREE intermédio entre as amostras do grupo I e II de Viana do Alentejo. Em termos isotópicos, as amostras de Alcáçovas apresentam também valores intermédios de ϵ_{Nd} comparativamente às amostras de Viana do Alentejo. Tudo isto indica que, em termos cronológicos, estas amostras terão sido geradas numa etapa intermédia do episódio de *early rift*, sendo tal corroborado pela idade obtida nos ortognaisses de Alcáçovas de 526.6 ± 9.9 Ma Chichorro *et al.* (2008). Contudo, a idade obtida nos ortognaisses de Valverde de 504.9 ± 5.4 Ma não é concordante com este modelo, tendo sido estes ortognaisses, segundo Chichorro *et al.*, 2008, como já pertencentes ao ciclo do *Main Rift* e incluídos no chamado Complexo Igneo-Sedimentar (essencialmente básico) do Carvalhal.

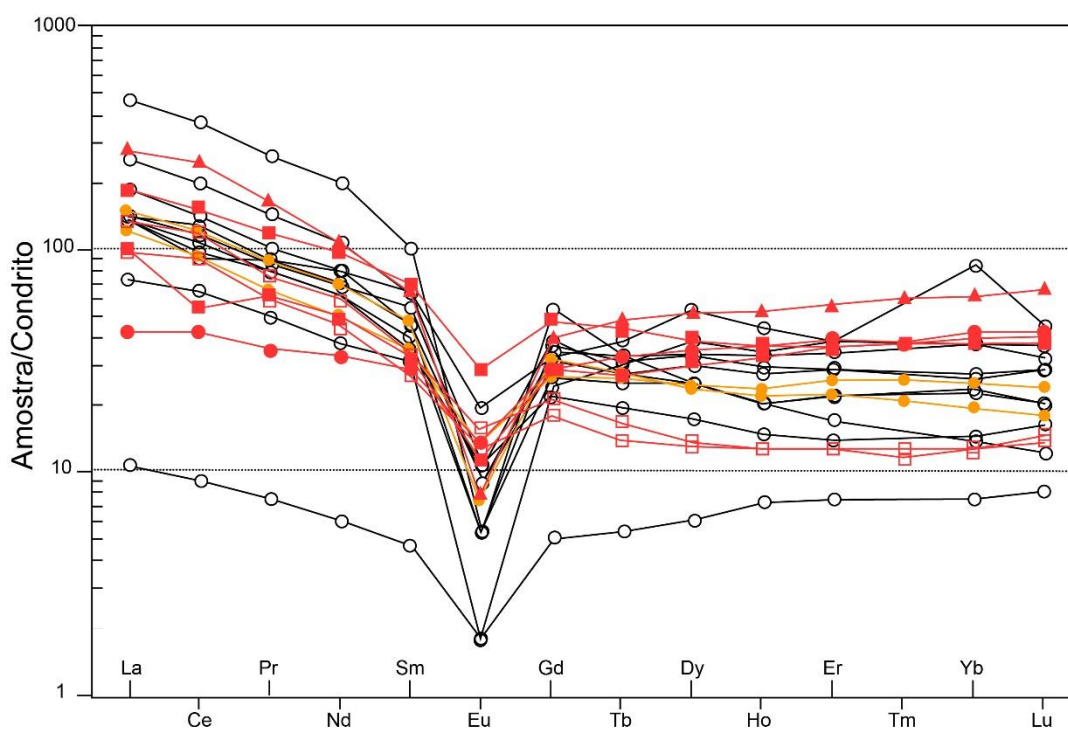


Figura 9.8 - Comparação dos padrões de REE das grupos félsicas félsicas de Viana do Alentejo (simbologia igual à Fig.7.1) com os ortognaisses de Alcáçovas (○) de Telhado (2018) e os ortognaisse de Valverde (●) de Chichorro (2006) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough & Sun (1995).

No que respeita à amostra PMT-17, tal como foi referido anteriormente, esta apresenta características geoquímicas bem distintas das restantes amostras félsicas estudadas. O maior enriquecimento em elementos como Th, U, Nb e Ta, bem como um maior enriquecimento em REE faz com que a amostra PMT-17 se assemelhe mais aos vulcanitos félsicos de *main rift* de Sánchez-García *et al.* (2010; Fig. 9.9) do que aos vulcanitos félsicos de *early rift*, como se verifica para as restantes amostras félsicas de Viana do Alentejo.

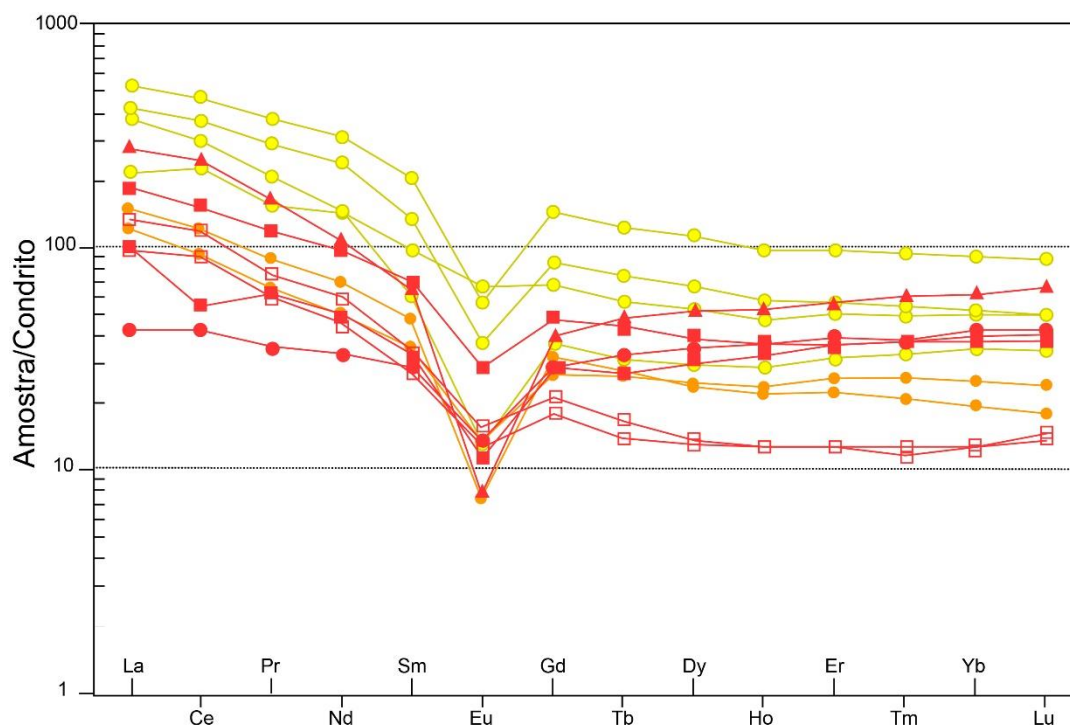


Figura 9.9 - Comparação dos padrões de REE dos grupos félsicas félsicas de Viana do Alentejo (simbologia igual à Fig.7.1) com as rochas félsicas associadas ao evento de *main rift* (●) de Sánchez-García *et al.* (2010) e o ortognaisse de Valverde (●) de Chichorro (2006) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough

Por sua vez, as amostras básicas denotam características geoquímicas muito semelhantes a litologias máficas associadas ao evento magmático do Câmbrio inferior, o *main rift stage*, definido por Sánchez-García *et al.* (2008b, 2010; Fig. 9.11). Podem igualmente ser equiparadas à geoquímica dos anfibolitos e metabasitos inseridos na Zona de Cisalhamento de Montemor-o-Novo estudados por Chichorro, 2006 (Fig. 9.10). Estas rochas apresentam, à semelhança dos metabasaltos de Viana do Alentejo, um carácter sub-alcalino, maioritariamente metaluminoso, e apresentando uma assinatura anorogénica, com um enriquecimento variável entre N-MORB e E-MORB, com alguns representantes de basaltos intra-placa. Quando se compara os padrões de REE destas amostras com os padrões obtidos nos metabasaltos de Viana do Alentejo, verifica-se que as amostras do sector da estrutura de Viana (com a exceção da amostra PMT-16) e do sector da estrutura de Oriola são em tudo semelhantes aos padrões obtidos nos anfibolitos II de Chichorro (2006) e nas amostras básicas E-MORB/OIB de Sánchez-García *et al.* (2010). Por sua vez, as restantes amostras apresentam padrões semelhantes aos obtidos nos anfibolitos III de Chichorro (2006) e nas amostras básicas N-MORB de Sánchez-García *et al.* (2010).

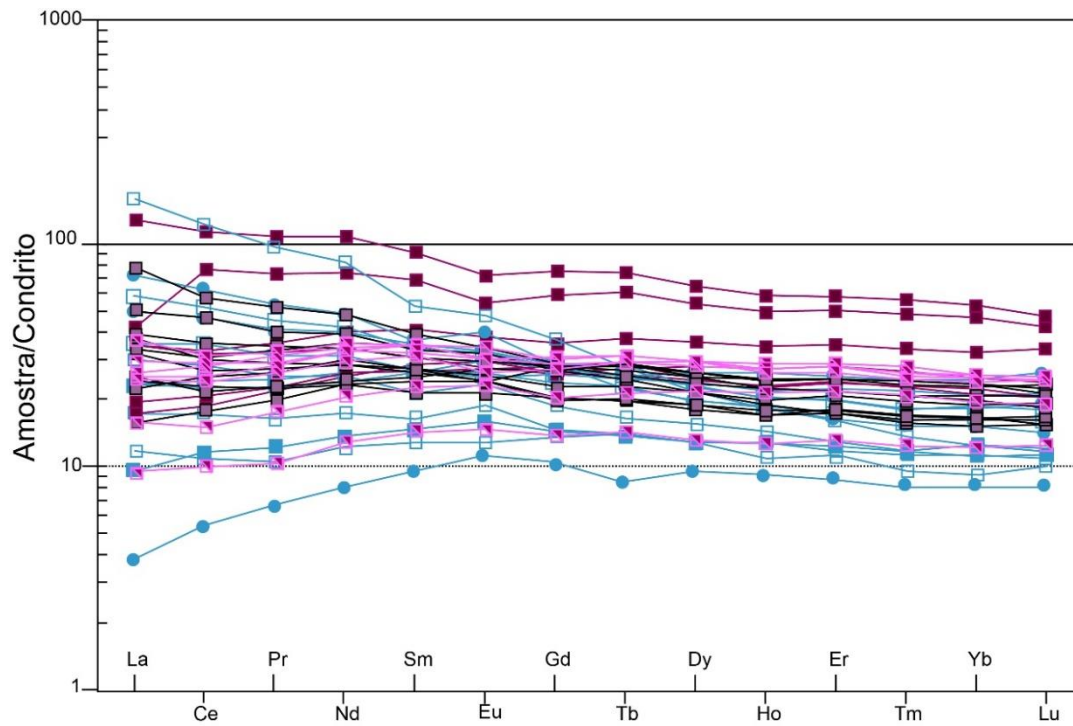


Figura 9.10 – Comparação dos padrões de REE das amostras máficas de Viana do Alentejo (simbologia igual à Fig. 7.1) com anfibolitos I (■), II (■) e III (■) de Chichorro (2006) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough & Sun (1995).

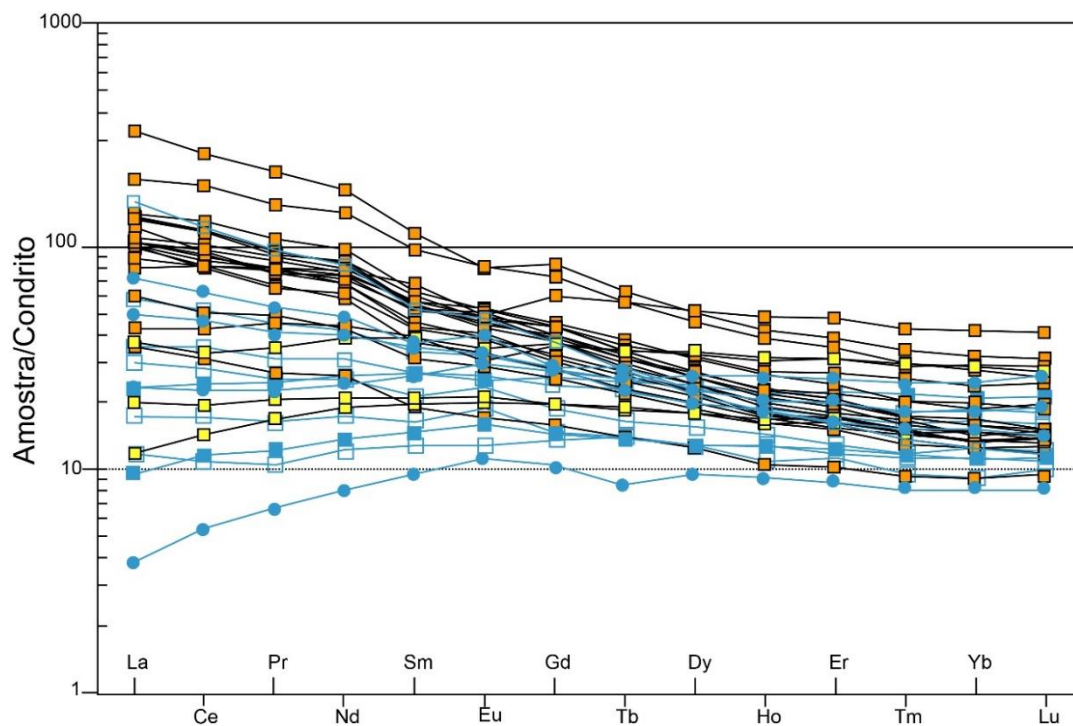


Figura 9.11 - Comparação dos padrões de REE das amostras máficas de Viana do Alentejo (simbologia igual à fig. 7.1) com amostras máficas associadas ao evento de main rift N-MORB (■) e OIB/E-MORB (■) de Sánchez-Garcia et al. (2010) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough & Sun (1995).

Em termos isotópicos, as amostras de Viana do Alentejo apresentam valores de ϵNd_i bastante elevados, muito semelhantes aos verificados nos anfibolitos III de Chichorro (2006), com apenas a amostra PMT-12B a apresentar valores fora desta faixa (Fig. 9.12). O baixo valor de ϵNd_i da amostra PMT-12B é, tal como foi referido anteriormente, o provável resultado da interação com a amostra félsica PMT-12A, atendendo à proximidade das suas assinaturas isotópicas e proximidade geográfica. De salientar também o caso da amostra PMT-8C, que apresenta valores de ϵNd_i semelhantes aos anfibolitos II de Chichorro (2006). De acordo com Chichorro *et al.* (2008), estes anfibolitos apresentam uma assinatura semelhante à de basaltos enriquecidos. Tal aparenta também ser o caso relativamente à amostra PMT-8C, sendo tal evidenciado nos diagramas de elementos incompatíveis Th/Yb vs. Ta/Yb e Ce/Yb vs. La/Ta.

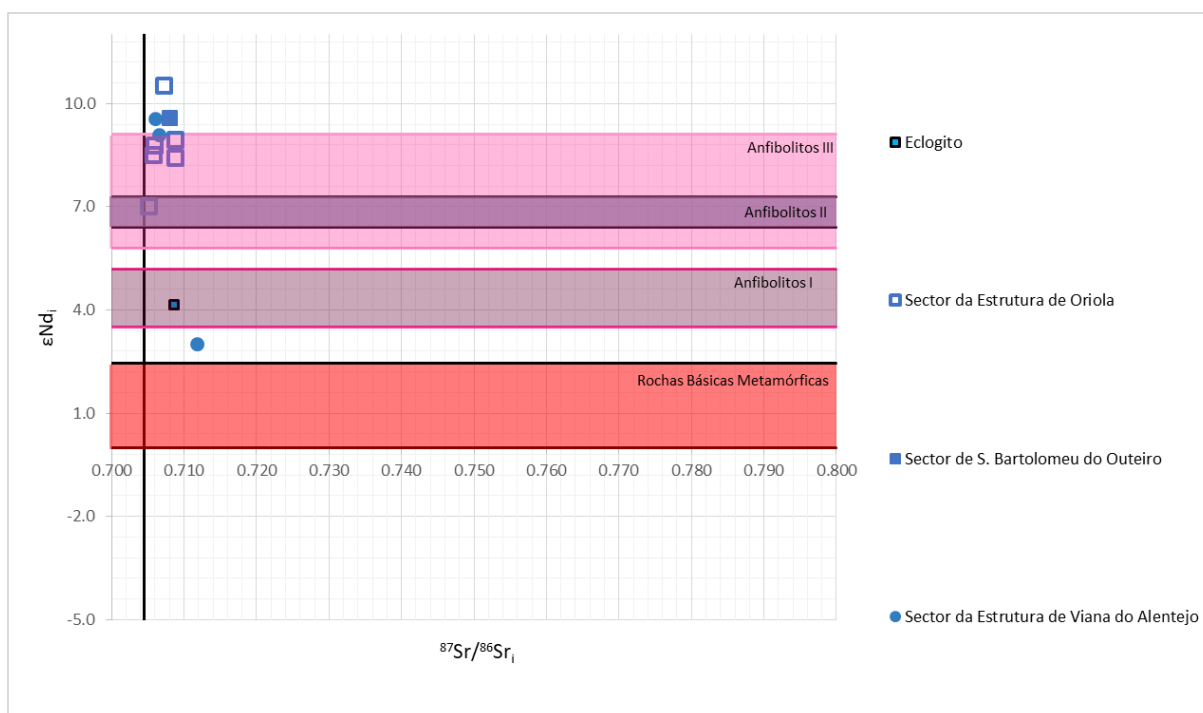


Figura 9.12 - Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs ϵNd comparando as assinaturas isotópicas dos metabasaltos de Viana do Alentejo, cujos dados foram recalculados para $t = 520$ Ma, com outras amostras máficas da ZOM, nomeadamente os anfibolitos de Chichorro (2006) para $t = 500$ Ma, as rochas básicas metamórficas de Telhado (2018) para $t = 526$ Ma e os eclogitos de Oliveira (2020) para $t = 370$ Ma.

Os metabasaltos de Viana do Alentejo foram igualmente comparados a outras amostras máficas do SW da ZOM, nomeadamente os metabasaltos abordados por Pedro (2004; Fig. 9.13A), as rochas máficas de Araújo *et al.* (2005; Fig. 9.13B) e as rochas básicas e eclogitos estudados por Telhado (2018; Fig. p.13C), respetivamente. Estas rochas apresentam, à semelhança das amostras referidas no parágrafo anterior, um carácter toleítico e metaluminoso, apresentando assinaturas anorogénicas. Os metabasaltos de Pedro (2004) apresentam um padrão de REE “em leque”, praticamente idêntico ao verificado nos metabasaltos de Viana do Alentejo, evidenciando assim um enriquecimento variável em LREE. Por sua vez, as rochas máficas de Araújo *et al.* (2005) apresentam também grandes semelhanças aos metabasaltos de Viana do Alentejo, evidenciando também um carácter toleítico e metaluminoso, bem como assinaturas anorogénicas que variam entre N-MORB e WPB. Ainda relativamente aos metabasitos estudados por Araújo *et al.* (2005), os basaltos da unidade de Odearce apresentam padrões de REE

fortemente enriquecidos em LREE, à semelhança da amostra PMT-8C, enquanto os metabasaltos da unidade de Alqueva e as rochas máficas da unidade de Moinho de Vilares apresentam padrões de REE aplanados, com estas últimas a denotarem um ligeiro enriquecimento em LREE, sendo muito semelhantes às restantes amostras básicas de Viana do Alentejo. Os metabasaltos da unidade de Alqueva apresentam grande afinidade com as unidades autóctone, tendo Roseiro *et al.* (2019) também notado igual afinidade para com o autóctone em outras rochas básicas presentes no Complexo Filonítico de Moura. Como tal, atendendo às semelhanças geoquímicas, pode-se afirmar que os metabasaltos terão também grande afinidade às unidades autóctones da ZOM.

No que respeita às rochas básicas de Telhado (2018), estas rochas evidenciam um padrão de REE aplanado, típico de basaltos N-MORB, mas apresentando um maior enriquecimento em REE comparativamente às amostras de Viana do Alentejo e assemelhando-se mais aos anfibolitos I de Chichorro (2006). Os dados isotópicos mostram que as amostras de Telhado (2018) apresentam valores de ϵNd_i inferiores aos obtidos nos metabasaltos de Viana do Alentejo e nos anfibolitos de Chichorro (2006).

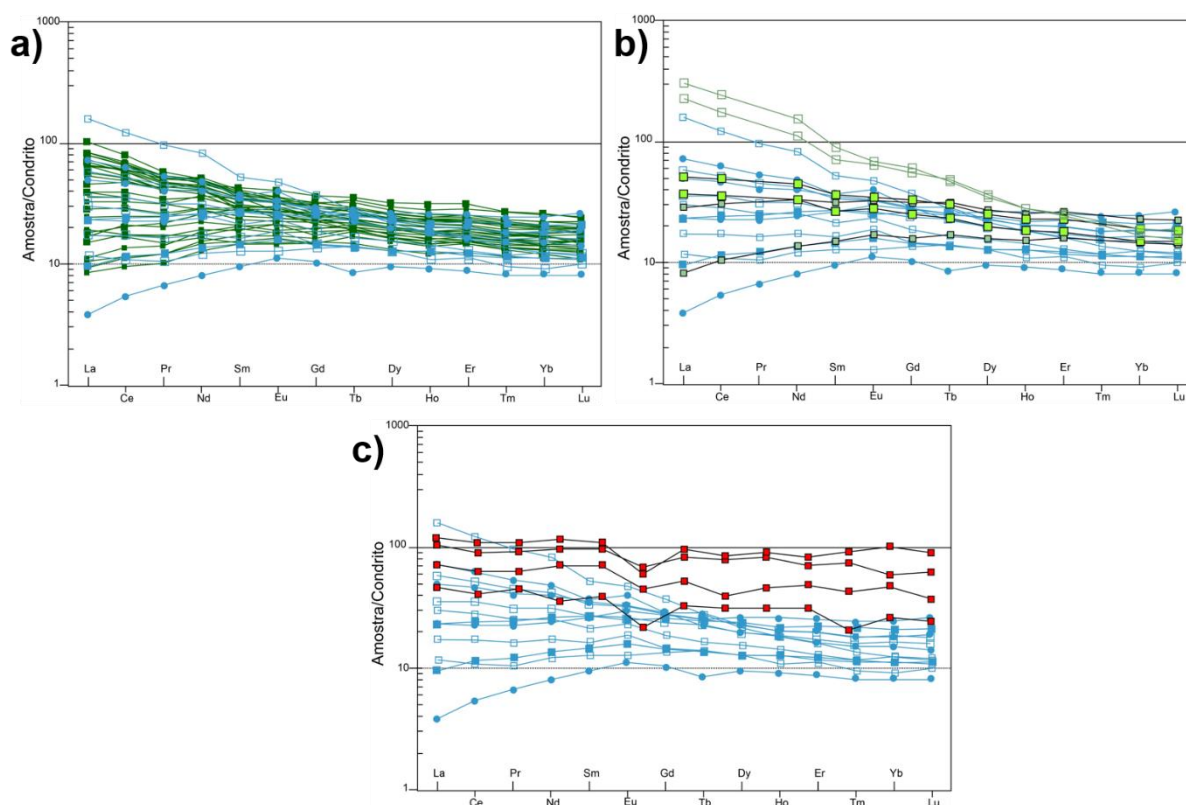


Figura 9.13 – Comparação dos padrões de REE das amostras máficas de Viana do Alentejo (simbologia igual à fig. 7.1) com: A - Metabasaltos (■) de Pedro (2004); B - com as rochas básicas das unidades de Odearce (□), Alqueva (■) e Moinho de Vilares (■) de Araújo *et al.* (2005); Rochas básicas metamórficas (■) de Telhado (2018) utilizando o condrito como normalização de acordo com McDonough & Sun (1995).

De acordo com o modelo de Sánchez-García *et al.* (2003; 2010; 2019) o *main rift stage* resulta da transição de uma etapa de *rifting* “passivo” em que a extensão é essencialmente acomodada por um fluxo quente infra-crustal. Por seu lado, na etapa de *rifting* ativo a extensão, por apresentar taxas superiores de difusão térmica, passa a afetar toda a litosfera. Esta transição terá então permitido a propagação de fraturas na crosta da ZOM, permitindo ascensão e instalação na crosta superior de

líquidos magmáticos provenientes de câmaras magmáticas astenosféricas. Por sua vez, a natureza variável das amostras máficas associadas a este episódio magmático resulta da injeção de *melts* mais primitivos, ou não, a partir destas câmaras magmáticas, enquanto as rochas ácidas associadas a este evento são o resultado da mistura variável de magmas crustais e mantélicos, sendo tal particularmente evidenciado pelos valores de ϵNd obtidos por Sánchez-García *et al.* (2010) os quais variam entre valores ligeiramente negativos e ligeiramente positivos. Apesar de não terem sido obtidos dados isotópicos para a amostra PMT-17, atendendo à grande afinidade geoquímica que esta apresenta com a rochas félsicas de *main rift* estudadas por Sánchez-García *et al.* (2010), presume-se que esta tenha sido sujeita aos mesmos processos petrogenéticos. No que respeita aos metabasaltos em estudo, estes, tal como já foi referido, apresentam também uma grande afinidade geoquímica com as rochas básicas associadas ao episódio de *main rift* estudadas por Sánchez-García *et al.* (2008b, 2010). Contudo, estas amostras de *main rift* apresentam um nível variável de contaminação crustal, sendo tal evidenciado no diagrama de Pearce (2008; Fig. 9.14). Neste diagrama verifica-se que muitas das amostras de Sánchez-García *et al.* (2010), à semelhança do que se verifica nos anfíbolitos I de Chichorro (2006), projetam-se fora da faixa MORB-OIB, sendo tal tipicamente um indicador de interação do magma com a crosta. Esta aparente contribuição crustal variável é mais expectável nas etapas iniciais de um ambiente geotectónico distensivo com uma crosta ainda espessa, mas em progressivo adelgaçamento, sendo que a ausência de assinaturas crustais nas amostras básicas de Viana do Alentejo sugere que estas tenham sido geradas numa fase mais tardia, em que a influência crustal é menos significativa. Tal sucessão de eventos e respetivos câmbios geoquímicos e petrogenéticos em crosta continental são compatíveis com a provável evolução no sentido de formação de uma crosta oceânica primordial que irá dar origem ao Oceano Rheic. Esta ideia é reforçada pela afinidade geoquímica que estas amostras apresentam com os metabasaltos de Pedro *et al.* (2010), de idade 480 Ma, que são também interpretados com correspondendo a parte da crosta oceânica do Oceano Rheic. Tal implica que, como foi referido anteriormente, os metabasaltos de Viana do Alentejo foram provavelmente gerados no início da abertura do Oceano Rheic, no Ordovício inferior. Tal modelo de magmatismo em ambiente de *Rift a Rift-to-Drift* já havia sido proposto para explicar a génese de outras rochas máficas do SW da ZOM. Este ambiente tectónico eminentemente distensivo é corroborado pelo magmatismo félsico de idade Câmbrica, espacialmente associado às rochas básicas (Chichorro *et al.*, 2008), bem como pelo desenvolvimento síncrono das sub-bacias em processos de rifting intracontinental expresso nas sequências sedimentares clásticas e carbonatadas (Oliveira *et al.*, 1991), que é exactamente o conjunto de litótipos e quimismo observado na região em estudo.

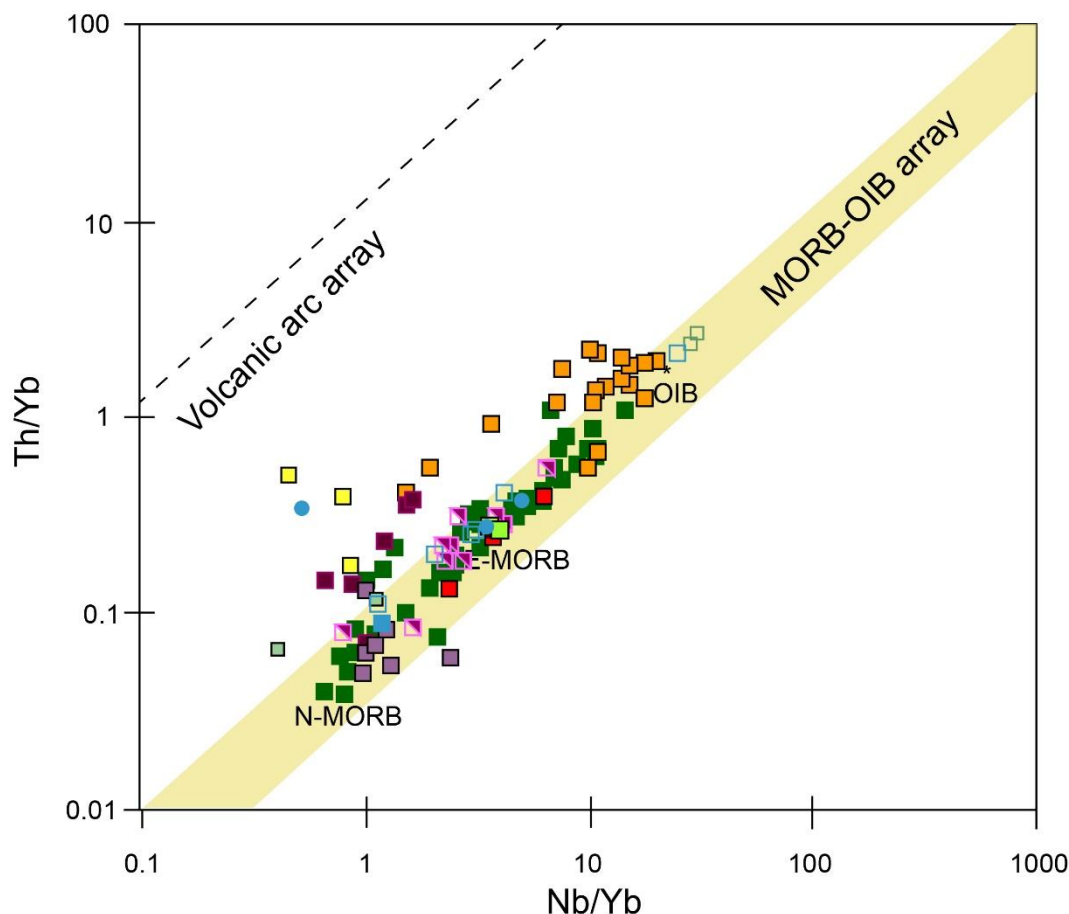


Figura 9.14 - Comparação das amostras metabásicas de Viana do Alentejo (simbologia igual à das figuras 7.1) com os metabasaltos (■) de Pedro (2004), as rochas básicas das unidades de Odearce (□), Alqueva (■) e Moinho de Vilar (■) de Araújo *et al.* (2005), os anfibolitos I (■), II (■) e III (■) de Chichorro (2006), as amostras máficas associadas ao evento de main rift N-MORB (■) e OIB/E-MORB (■) de Sánchez-García *et al.* (2010), as rochas básicas metamórficas (■) de Telhado (2018) no diagrama Th/Yb vs Nb/Yb de Pearce (2008).

Assim sendo, pode-se afirmar que as rochas metavulcânicas de Viana do Alentejo apresentam as várias etapas evolutivas observadas durante o Câmbrio, desde o rifting inicial pós-cadomiano até à abertura do Oceano Rheic, já no Ordovício inferior. Posteriormente, e de acordo com o modelo de Araújo *et al.* (2005), estas litologias terão sido imbricadas aquando da subducção varisca, contemporaneamente à obducção do IOMZOS (Fonseca *et al.*, 1999; Pedro, 2004; Pedro *et al.*, 2005, 2010), gerando assim um complexo acrecionário a que hoje se dá o nome de Complexo Filonítico de Moura ou “Xistos de Moura”. O aspecto e grau metamórfico actualmente observáveis nestas litologias são o resultado das diferentes etapas que se seguiram durante a Orogenia Varisca.

10 Conclusões

Os resultados obtidos neste estudo permitiram uma melhor compreensão da génese das rochas metavulcânicas da região de Viana do Alentejo, as quais se encontram inseridas nos “Xistos de Moura”, bem como o enquadramento das mesmas na história geodinâmica da ZOM. Com base na interpretação destes mesmos resultados concluiu-se o seguinte:

- As rochas metavulcânicas félsicas e básicas foram geradas em diferentes episódios magmáticos, sendo que nas rochas félsicas, a amostra PMT-17 não terá sido gerada durante o mesmo episódio magmático que as restantes.

- As rochas félsicas podem ser divididas, com base nas suas características geoquímicas, em 3 grupos (grupos I, II e III). As amostras dos grupos I e II apresentam grande afinidade geoquímica às amostras félsicas do *early rift*, geradas durante o Câmbrio inferior (530-515 Ma). As amostras do grupo I terão sido geradas numa fase inicial do rifting câmbrio, uma vez que apresentam um maior empobrecimento em HREE e valores de ϵNd_i fortemente negativos, típico de fontes supra-crustais, bem como uma assinatura orogénica herdada, provavelmente resultante da fusão de rochas cadomianas. Por sua vez, as amostras do grupo II evidenciam um maior enriquecimento em HREE e valores de ϵNd_i mais próximos de zero, evidenciando assim uma maior contribuição mantélica, em consonância com a assinatura anorogénica destas amostras. As amostras do grupo II também apresentam idades modelo mais recentes ($T_{\text{DM}} \approx 1.1$ Ga; Orogenia Grenviliana), o que implica que estas foram retiradas do reservatório mantélico à menos tempo que as amostras do grupo I ($T_{\text{DM}} \approx 1.8$ Ga; Orogenia Eburniana), sendo assim menos evoluídas. Assim sendo, conclui-se que as amostras do grupo II terão sido geradas numa fase mais tardia do episódio de *early rift*. Por fim, as características geoquímicas da amostra PMT-17 denotam uma influência mantélica superior às dos outros 2 grupos, evidenciando também uma grande afinidade destas amostras com as litologias félsicas associadas ao episódio de *main rift*.
- Os protólitos dos metabasaltos de Viana do Alentejo correspondem a rochas com assinatura oceânica, sendo tal evidenciado pelo seu carácter toleítico, assinatura anorogénica e elevados valores positivos de ϵNd_i . A maioria destas amostras provém da região da espinela, tendo-se identificado, contudo, uma amostra mais enriquecida, proveniente de uma zona mais profunda do manto (região da granada). Nestas amostras é também notório uma elevada variabilidade das razões $(\text{La/Lu})_N$, estando esta variabilidade associada à atuação de fenómenos de cristalização fracionada e à existência de alguma heterogeneidade na fonte (possivelmente associada à injeção de melts mais primitivos nas camaras magmáticas de onde estas rochas provém). Estes metabasaltos apresentam grande afinidade com outras rochas máficas da ZOM associadas ao episódio de *main rift*, denotando, ao contrário de muitas destas, uma ausência de evidências claras de contaminação crustal, com a exceção de uma amostra (PMT-12B). Tal associado à grande afinidade geoquímica que estas apresentam com metabasitos de afinidade autóctone e com os metabasaltos oceânicos de Pedro *et al.* (2010) sugere os metabasaltos de Viana do Alentejo estão associados a uma sequência de processos magmáticos em crosta continental, que, estão intimamente ligados ao desenvolvimento de uma crosta oceânica. Terão sido assim gerados em ambiente de *Rift-to-Drift* a *Drift*.
- Em termos metamórficos, pode-se afirmar, com base nas paragénese minerais identificadas nas amostras metabásicas, que estas terão sido afetadas pelo metamorfismo HT-L/MP que afetou o SW da ZOM durante o Carbonífero. As amostras do sector da Estrutura de Viana revelam paragénese típicas de xistos verdes, enquanto as amostras mais a Norte, em Oriola e São Bartolomeu apresentam paragénese compatíveis com a fácies anfíbolítica. Nestas últimas, a relativa proximidade de unidades carbonatadas associada às condições de HT terá provocado a circulação de líquidos metassomáticos ricos em CO_2 e Ca, os quais são responsáveis pela formação de piroxena e granada. A composição química destas fases minerais é muito semelhante às composições obtidas em outras rochas da região de Alvito-Viana do Alentejo (e.g. Gomes & Fonseca, 2006; Almeida *et al.*, 2017), embora com contextos geodinâmicos e metamórficos distintos.
- As únicas evidências da atuação de processos metamórficos nas amostras metafélsicas são a presença de veios de clorite numa das amostras do sector da Estrutura de Viana e a orientação preferencial das micas nas amostras de São Bartolomeu. Por sua vez, nas amostras metassedimentares, para além da orientação preferencial das micas, foi também identificada numa das

amostras a presença de andalusite e cordierite. A formação destas fases minerais está muito provavelmente associada à instalação mais tardia de intrusões graníticas variscas.

11 Referências

- Abalos, B., Ibarguchi, J. & Eguiluz, L. 1991a. "Cadomian Subduction/Collision and Variscan Transpression in the Badajoz-Córdoba Shear Belt, Southwest Spain." *Tectonophysics* 199 (1): 51–72.
- Abalos, B., Ibarguchi, J. & Eguiluz, L. 1991b. "Structural and Metamorphic Evolution of the Almadén de La Plata Core (Seville, Spain) in: Relation to Syn-Metamorphic Shear between the Ossa-Morena and South Portuguese Zones of the Iberian Variscan Fold Belt." *Tectonophysics* 191 (3–4): 365–87.
- Almeida, M., Franca, J., Serralha, A.M., & Silva, M.P. 2017. "Metamorfismo Varisco Na Região de Viana Do Alentejo (Zona de Ossa-Morena): Petrografia e Geotermobarometria Preliminares". Relatório de Projecto. Universidade de Lisboa.
- Álvaro, J. J., Bellido, F., Gasquet, D., Pereira, M.F., Quesada, C. & Sánchez-García, T. 2014. "Diachronism in the Late Neoproterozoic-Cambrian Arc-Rift Transition of North Gondwana: A Comparison of Morocco and the Iberian Ossa-Morena Zone." *Journal of African Earth Sciences* 98: 113–32. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.03.024>.
- Amaral, J. 2017. "Petrologia e Geoquímica Dos Maciços Shoshoníticos de Veiros e Vale de Maceira (Zona de Ossa-Morena): Implicações Geodinâmicas." Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa.
- Andonaegui, P., Arenas, R., Albert, R., Sánchez Martínez, S., Díez Fernández, R. & Gerdes, A. 2016. "The Last Stages of the Avalonian–Cadomian Arc in NW Iberian Massif: Isotopic & Igneous Record for a Long-Lived Peri-Gondwanan Magmatic Arc." *Tectonophysics* 681: 6–14.
- Andrade, A., Santos, J.F., Oliveira, J.T., Munhá, J. & Gonçalves, F.. 1991. "Magmatismo Orogénico Na Transversal Odivelas-Sta." *Suzana. XI Reunión Sobre Geología Oeste Peninsular: Aracena-Beja, Spain, Excursion Guidebook*, 87–105.
- Apalategui, O., Eguiluz, L. & Quesada, C.. 1990. "Structure." In *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, 280–91. Springer.
- Araújo, A. 1995. "Estrutura de Uma Geotransversal Entre Brinches e Mourão (Zona de Ossa-Morena): Implicações Na Evolução Geodinâmica Da Margem Sudoeste Do Terreno Autóctone Ibérico." Tese de Doutoramento. Universidade de Évora.
- Araújo, A. & Ribeiro, A. 1997. "Estrutura Dos Domínios Meridionais Da Zona de Ossa-Morena." *Estudos de Geologia Da Zona de Ossa-Morena (Maciço Ibérico), Livro de Homenagem Ao Professor Francisco Gonçalves: Évora, Portugal*, 169–82.
- Araújo, A., Fonseca, P., Munhá, J., Moita, P., Pedro, J. & Ribeiro, A. 2005. "The Moura Phyllonitic Complex: An Accretionary Complex Related with Obduction in the Southern Iberia Variscan Suture." *Geodinamica Acta* 18 (5): 375–88. <https://doi.org/10.3166/ga.18.375-388>.
- Araújo, A., Piçarra, J., Borrego, J., Pedro, J. & Oliveira, T. 2013. "As Regiões Central e Sul Da Zona de Ossa-Morena." In *Geologia de Portugal*, edited by J.C. Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, 509–49. Escolar Editora.
- Arenas, R. & Martínez Catalán, J.. 2003. "Low-P Metamorphism Following a Barrovian-Type Evolution. Complex Tectonic Controls for a Common Transition, as Deduced in the Mondoñedo

- Thrust Sheet (NW Iberian Massif).” *Tectonophysics* 365 (1–4): 143–64. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00020-9).
- Arenas, R., Martínez Catalán, J., Sánchez Martínez, S., Fernández-Suárez, J., Andonaegui, P., Pearce, J. & Corfu, F. 2007. “The Vila de Cruces Ophiolite: A Remnant of the Early Rheic Ocean in the Variscan Suture of Galicia (Northwest Iberian Massif).” *The Journal of Geology* 115 (2): 129–48. <https://doi.org/10.1086/510645>.
- Armendáriz, M., López-Guijarro, R., Quesada, C., Pin, C. & Bellido, F. 2008. “Genesis and Evolution of a Syn-Orogenic Basin in Transpression: Insights from Petrography, Geochemistry and Sm–Nd Systematics in the Variscan Pedroches Basin (Mississippian, SW Iberia).” *Tectonophysics* 461 (1–4): 395–413. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.02.007>.
- Azor, A., Rubatto, D., Simancas, J.F., González Lodeiro, F., Martínez Poyatos, D., Martín Parra, L. M. & Matas, J. 2008. “Rheic Ocean Ophiolitic Remnants in Southern Iberia Questioned by SHRIMP U–Pb Zircon Ages on the Beja-Acebuches Amphibolites.” *Tectonics* 27 (5): 1–11. <https://doi.org/10.1029/2008TC002306>.
- Bastida, F., Aller, J., Pulgar, J., Toimil, N., Fernández, F., Bobillo-Ares, N. & Menéndez, C. 2010. “Folding in Orogens: A Case Study in the Northern Iberian Variscan Belt.” *Geological Journal* 45 (5–6): 597–622. <https://doi.org/10.1002/gj.1199>.
- Bea, F., Montero, P., Gonzalez-Lodeiro, F., Talavera, C., Molina, J., Scarrow, J., Whitehouse, M. & Zinger, T. 2006. “Zircon Thermometry and U–Pb Ion-Microprobe Dating of the Gabbros and Associated Migmatites of the Variscan Toledo Anatectic Complex, Central Iberia.” *Journal of the Geological Society* 163 (5): 847–55. <https://doi.org/10.1144/0016-76492005-143>.
- Bento dos Santos, T. 2008. “Petrologia e Termocronologia de Granulitos No Sector Central Da Faixa Ribeira (Região de São Fidelis, Rio de Janeiro, Brasil).” Tese de Doutoramnto. Universidade de Lisboa.
- Bento dos Santos, Telmo. 2018. “Charnockitos: Síntese Petrológica e Geoquímica de Umas Rochas Enigmáticas.” *Geonovas*, 31: 21–32.
- Bento dos Santos, T., Munhá, J., Tassinari, C., Fonseca, P. & Dias Neto, C. 2011a. Metamorphic P–T Evolution of Granulites in the Central Ribeira Fold Belt, SE Brazil.” *Geosciences Journal* 15 (1): 27–51. <https://doi.org/10.1007/s12303-011-0004-1>.
- Bento dos Santos, T., Munhá, J., Tassinari, C. & Fonseca, P. 2011b. “The Link between Partial Melting, Granitization and Granulite Development in Central Ribeira Fold Belt, SE Brazil: New Evidence from Elemental and Sr–Nd Isotopic Geochemistry.” *Journal of South American Earth Sciences* 31 (2–3). <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.01.004>.
- Borrego, J., Araújo, A., Fonseca, P. & Ribeiro, M. A. 2006. “Estudos de Proveniência Em Litologias Detríticas Do Sinclinal de Terena (ZOM): Tectónica e Evolução Geodinâmica Do Silúrico Basal Ao Devónico Inferior.” In *VII Congresso Nacional de Geologia*.
- Braid, J., Murphy, J., Quesada, C., Gladney, E. & Dupuis, N. 2018. “Progressive Magmatism and Evolution of the Variscan Suture in Southern Iberia.” *International Journal of Earth Sciences* 107 (3): 971–83.
- Brueseke, M., & Hart, W.K. 2009. “Intermediate Composition Magma Production in an Intracontinental Setting: Unusual Andesites and Dacites of the Mid-Miocene Santa Rosa-Calico Volcanic Field,

- Northern Nevada.” *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.
<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.12.015>.
- Cambeses, A., Scarrow, J. H., Montero, P., Molina, J. F. & Moreno, J. A.. 2015. “SHRIMP U-Pb Zircon Dating of the Valencia Del Ventoso Plutonic Complex, Ossa-Morena Zone, SW Iberia: Early Carboniferous Intra-Orogenic Extension-Related ‘calc-Alkaline’ Magmatism.” *Gondwana Research* 28 (2). <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.05.013>.
- Carrilho Lopes, J.M. 2004. “Petrologia e Geoquímica de Complexos Plutónicos Do Nordeste Alentejano (Portugal Central). Província Alcalino e Maciço de Campo Maior”. Tese de Douctoramento, Universidade de Évora.
- Carrilho Lopes, J.M. 2020. “Magmatismo Intrusivo No Ciclo Varisco (Alentejo NE, Portugal).” Universidade de Évora.
- Carvalhosa, A. B. 1967. “Carta Geológica de Portugal à Escala 1/50.000, Folha 40-D (Portel).” Serviços Geológicos de Portugal.
- . 1972a. “Estudo Geológico-Petrográfico Da Região de Viana Do Alentejo-Alvito.” *Boletim Da Sociedade Geológica de Portugal* 18 (18): 7–56.
- . 1972b. “Carta Geológica de Portugal à Escala 1/50.000, Folha 40 C (Viana Do Alentejo).” Serviços Geológicos de Portugal.
- . 1983a. “Esquema Geológico Do Maciço de Évora.” *Comunicações Dos Serviços Geológicos de Portugal* 69 (2): 201–8.
- . 1983b. “Sobre Os Gnaisses Leptiniticos Da Faixa de Escoural--Alvito (Alentejo)-Nota Preliminar.” *Boletim Da Sociedade Geológica de Portugal. Soc. Geol. Portg* 24: 213–19.
- Carvalhosa, A.B. & Zbyszewski, G. 1994. *Notícia Explicativa Da Folha 35-D: Montemor-o-Novo: Escala 1: 50.000*. Serviços Geológicos de Portugal.
- Castiñeiras, P., Villaseca, C., Barbero, L. & Martín Romera, C. 2008. “SHRIMP U–Pb Zircon Dating of Anatexis in High-Grade Migmatite Complexes of Central Spain: Implications in the Hercynian Evolution of Central Iberia.” *International Journal of Earth Sciences* 97 (1): 35–50. <https://doi.org/10.1007/s00531-006-0167-6>.
- Castro, A., Fernández, C., El-Hmidi, H., El-Biad, M., Díaz, M., De la Rosa, J. & Stuart, F. 1999. “Age Constraints to the Relationships between Magmatism, Metamorphism and Tectonism in the Aracena Metamorphic Belt, Southern Spain.” *International Journal of Earth Sciences* 88 (1): 26–37. <https://doi.org/10.1007/s005310050243>.
- Chacón, J., Delgado-Quesada, M. & Garrote, A. 1974. “Sobre La Existencia de Dos Diferentes Dominios de Metamorfismo Regional En La Banda Elvas-Badajoz-Córdoba (Macizo Hesperico Meridional).” *Boletim Geológico Mineiro* 85(6): 713–17.
- Chacón, J., V. Oliveira, A. Ribeiro, & J. T. Oliveira. 1983. “La Estructura de La Zona de Ossa Morena.” In *Geologia de España I*, edited by J. M. Rios, 490–504. Livro Jubilar.
- Chichorro, M. 2006. “A Evolução Tectónica Da Zona de Cisalhamento de Montemor-o-Novo (Sudoeste Da Zona de Ossa Morena-Área de Santiago Do Escoural-Cabrela).” Tese de Doutoramento. Universidade de Évora.

- Chichorro, M., Pereira, M. F., Díaz-Azpiroz, M., Williams, I. S., Fernández, C., Pin, C. & Silva, J. B. 2008. "Cambrian Ensialic Rift-Related Magmatism in the Ossa-Morena Zone (Évora-Aracena Metamorphic Belt, SW Iberian Massif): Sm-Nd Isotopes and SHRIMP Zircon U-Th-Pb Geochronology." *Tectonophysics* 461 (1–4): 91–113. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.01.008>.
- Crowley, Q., Winchester, J. A., Franke, W. & Holland, J. G. 2000. "Early Palaeozoic Rift-Related Magmatism in Variscan Europe: Fragmentation of the Armorican Terrane Assemblage." *Terra Nova* 12 (4). <https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2000.00290.x>.
- Dallmeyer, R. D., & Martínez Garcia, E. 1990. "Introduction to the Pre-Mesozoic Geology of Iberia." In *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, 3–4. Springer.
- Dallmeyer, R., Fonseca, P., Quesada, C. & Ribeiro, A. 1993. "40Ar/39Ar Mineral Age Constraints for the Tectonothermal Evolution of a Variscan Suture in Southwest Iberia." *Tectonophysics* 222 (2): 177–94. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(93\)90048-O](https://doi.org/10.1016/0040-1951(93)90048-O).
- Dallmeyer, R., Martínez Catalán, J., Arenas, R., Ibarguchi, J., Gutiérrez, G., Farias, P., Bastida, F. & Aller, J. 1997. "Diachronous Variscan Tectonothermal Activity in the NW Iberian Massif: Evidence from 40Ar/39Ar Dating of Regional Fabrics." *Tectonophysics* 277 (4): 307–37.
- Deer, W., Howie, R., Zussman, J. 2013. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals. An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. <https://doi.org/10.1180/dhz>.
- Delgado, M., Liñan, E., Pascual, E., Perez, F. 1977. "Criterios Para La Diferenciación de Dominios En Sierra Morena Central." *Estudios Geológicos* 12: 75–90.
- Dias da Silva, Í., Pereira, M.F., Silva, J.B. & Gama, C. 2018. "Time-Space Distribution of Silicic Plutonism in a Gneiss Dome of the Iberian Variscan Belt: The Évora Massif (Ossa-Morena Zone, Portugal)." *Tectonophysics* 747–748 (May): 298–317. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.10.015>.
- Dias, G, Leterrier, J., Mendes, A., Simões, P. & Bertrand, J. 1998. "U–Pb Zircon and Monazite Geochronology of Post-Collisional Hercynian Granitoids from the Central Iberian Zone (Northern Portugal)." *Lithos* 45 (1–4): 349–69. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(98\)00039-5](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(98)00039-5).
- Dias, R., Ribeiro, A., Romão, J., Coke, C. & Moreira, N. 2016. "A Review of the Arcuate Structures in the Iberian Variscides; Constraints and Genetic Models." *Tectonophysics* 681: 170–94. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.04.011>.
- Díaz Azpiroz, M. 2006. *Evolución Tectono-Metamórfica Del Dominio de Alto Grado de La Banda Metamórfica de Aracena*. Área de Xeoloxia e Minería do Seminario de Estudos Galegos.
- Díaz Azpiroz, M., Fernández, C., Castro, A. & El-Biad, M. 2006. "Tectonometamorphic Evolution of the Aracena Metamorphic Belt (SW Spain) Resulting from Ridge-trench Interaction during Variscan Plate Convergence." *Tectonics* 25 (1). <https://doi.org/10.1029/2004TC001742>.
- Dickin, A. P. 2005. "Radiogenic Isotope Geology." *Radiogenic Isotope Geology*. <https://doi.org/10.5860/choice.33-3330>.
- Díez Balda, M., Martínez Catalán, J. & Ayarza Arribas, P. 1995. "Syn-Collisional Extensional Collapse Parallel to the Orogenic Trend in a Domain of Steep Tectonics: The Salamanca Detachment Zone (Central Iberian Zone, Spain)." *Journal of Structural Geology* 17 (2): 163–82. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(94\)E0042-W](https://doi.org/10.1016/0191-8141(94)E0042-W).

- Díez Fernández, R., M. Francisco Pereira, & David A. Foster. 2014. "Peralkaline and Alkaline Magmatism of the Ossa-Morena Zone (SW Iberia): Age, Source, and Implications for the Paleozoic Evolution of Gondwanan Lithosphere." *Lithosphere* 7 (1): 73–90. <https://doi.org/10.1130/1379.1>.
- Díez Fernández, R. & Arenas, R. 2015. "The Late Devonian Variscan Suture of the Iberian Massif: A Correlation of High-Pressure Belts in NW and SW Iberia." *Tectonophysics* 654: 96–100. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.05.001>.
- Díez Fernández, R., Fuenlabrada, J., Chichorro, M., Pereira, M.F., Sánchez-Martínez, S., Silva, J.B. & Arenas, R. 2017. "Geochemistry and Tectonostratigraphy of the Basal Allochthonous Units of SW Iberia (Évora Massif, Portugal): Keys to the Reconstruction of Pre-Pangean Paleogeography in Southern Europe." *Lithos* 268: 285–301. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.10.031>.
- Eguíluz, L., Ibaguchi, J., Ábalos, B. & Apraiz, A. 2000. "Superposed Hercynian and Cadomian Orogenic Cycles in the Ossa-Morena Zone and Related Areas of the Iberian Massif." *Bulletin of the Geological Society of America* 112 (9): 1398–1413. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2000\)112<1398:SHACOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2000)112<1398:SHACOC>2.0.CO;2).
- Escuder Viruete, J., Arenas, R. & Martínez Catalán, J. 1994. "Tectonothermal Evolution Associated with Variscan Crustal Extension in the Tormes Gneiss Dome (NW Salamanca, Iberian Massif, Spain)." *Tectonophysics* 238 (1–4): 117–38. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90052-3](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90052-3).
- Escuder Viruete, J., Hernáiz Huerta, P., Valverde-Vaquero, P., Rodríguez Fernández, R. & Dunning, G. 1998. "Variscan Syncollisional Extension in the Iberian Massif: Structural, Metamorphic and Geochronological Evidence from the Somosierra Sector of the Sierra de Guadarrama (Central Iberian Zone, Spain)." *Tectonophysics* 290 (1–2): 87–109. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00014-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00014-6).
- Faure, G. 1986. "Principles of Isotope Geology. Second Edition." *John Wiley and Sons*.
- Faure, G. & Mensing, T. M. 2005. *Isotopes: Principles and Applications. Isotopes Principles and Applications*.
- Floyd, P., Seston, R., Kryza, R. & Crowley, Q. G. 2000. "Review of Geochemical Variation in Lower Palaeozoic Metabasites from the NE Bohemian Massif: Intracratonic Rifting and Plume-Ridge Interaction." *Geological Society Special Publication* 179. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.179.01.11>.
- Fonseca, P. 1995. "Estudo Da Sutura Varisca No SW Ibérico Nas Regiões de Serpa-Beja-Torrão e Alvito-Viana Do Alentejo." Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa.
- Fonseca, P., Munhá, J., Pedro, J., Rosas, F., Moita, P., Araújo, A. & Leal, N. 1999. "Variscan Ophiolites and High-Pressure Metamorphism in Southern Iberia." In *Ofioliti*. 24/ 2, 259–268. <https://doi.org/10.4454/ofioliti.v24i2.106>.
- Gill, R. 2015. *Chemical Fundamentals of Geology and Environmental Geoscience. Journal of Chemical Information and Modeling*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Gomes, E., & Fonseca, P. 2006. "Eventos Metamórfico/Metassomáticos Tardi-Variscos Na Região de Alvito (Alentejo, Sul de Portugal)." *Cadernos Do Laboratorio Xeoloxico de Laxe* 31 (31): 67–85.

- Gonçalves, F., & Coelho, A. 1974. *Carta Geológica de Portugal Na Escala de 1: 50 000: Notícia Explicativa Da Folha 36-A: Estremoz*.
- Gutiérrez-Alonso, G., Fernández-Suárez, J., Jeffries, T., Johnston, S., Pastor-Galán, D., Brendan Murphy, J., Piedad Franco, M. & Gonzalo, J. 2011. "Diachronous Post-orogenic Magmatism within a Developing Orocline in Iberia, European Variscides." *Tectonics* 30 (5). TC5008. <https://doi.org/10.1029/2010TC002845>
- Gutiérrez-Alonso, G., Collins, A., Fernández-Suárez, J., Pastor-Galán, D., González-Clavijo, E., Jourdan, F., Weil, A. & Johnston, S. 2015. "Dating of Lithospheric Buckling: 40Ar/39Ar Ages of Syn-Orocline Strike-Slip Shear Zones in Northwestern Iberia." *Tectonophysics* 643: 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.12.009>
- Hajná, J., Žák, J., Dörr, W., Kachlík, V. & Sláma, J. 2018. "New Constraints from Detrital Zircon Ages on Prolonged, Multiphase Transition from the Cadomian Accretionary Orogen to a Passive Margin of Gondwana." *Precambrian Research* 317: 159–78. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2018.08.013>.
- Henriques, S. 2013. "Magmatitos e Metamorfitos de Alto Grau No Contacto Entre as Zonas de Ossa Morena e Centro Ibérica: Significado Geodinâmico." Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra.
- Hernández Enrile, J. L. 1971. "Las Rocas Porfíroides Del Límite Cámbrico-Precámbrico Del Flanco Meridional Del Anticlinorio Olivenza-Monesterio (Badajoz)." *Boletín Geológico y Minero* 82: 143–54.
- Irvine, T. & Baragar, W. 1971. "A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks." *Canadian Journal of Earth Sciences* 8 (5): 523–48. <https://doi.org/10.1139/e71-055>.
- Jensen, L. 1976. *A New Cation Plot for Classifying Subalkalic Volcanic Rocks*. Vol. 66. Ministry of Natural Resources.
- Jesus, A. P., Munhá, J., Mateus, A., Tassinari, C. & Nutman, A. 2007. "The Beja Layered Gabbroic Sequence (Ossa-Morena Zone, Southern Portugal): Geochronology and Geodynamic Implications." *Geodinamica Acta* 20 (3): 139–57. <https://doi.org/10.3166/ga.20.139-157>
- Jesus, A. P., Mateus, A., Munhá, J., Tassinari, C., Bento dos Santos, T. & Benoit, M. 2016. "Evidence for Underplating in the Genesis of the Variscan Synorogenic Beja Layered Gabbroic Sequence (Portugal) and Related Mesocratic Rocks." *Tectonophysics* 683: 148–71. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.06.001>.
- Julivert, M., Fontboté, J. M., Ribeiro, A. & Conde, L. 1974. "Mapa Tectónico de La Península Ibérica y Baleares (Tectonic Map of the Iberian Peninsula and Balearian Islands)." *IGME-SPI, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid* 113.
- Kartashov, P. 2014. "Classification Diagram for REE-Bearing Members of the Epidote Group Based on Crystallochemical Data." In Workshop on Accessory Minerals, 19–21.
- Le Bas, M., Maitre, R., Streckeisen, A. & Zanettin, B. 1986. "A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram." *Journal of Petrology* 27 (3): 745–50. <https://doi.org/10.1093/petrology/27.3.745>.

- Leake, B., Woolley, A., Arps, C., Birch, W., Charles Gilbert, M., Grice, J., Hawthorne, F., Kato, A., Kisch, H. & Krivovichev, V. 1997. "Nomenclature of Amphiboles; Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names." *Mineralogical Magazine* 61 (405): 295–310.
- Leeman, W. P., & Hawkesworth, C. J. 1986. "Open Magma Systems: Trace Element and Isotopic Constraints." *Journal of Geophysical Research*. <https://doi.org/10.1029/jb091ib06p05901>.
- Li, C., Li, X., Li, Q., Guo, J. & Li, X. 2011. "Directly Determining $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ Isotope Ratios Using Thermal Ionization Mass Spectrometry for Geological Samples without Separation of Sm--Nd." *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 26 (10): 2012–22. DOI: 10.1039/C0JA00081G.
- Li, C., Li, X., Li, Q., Guo, J., Li, X. & Yang, Y. 2012. "Rapid and Precise Determination of Sr and Nd Isotopic Ratios in Geological Samples from the Same Filament Loading by Thermal Ionization Mass Spectrometry Employing a Single-Step Separation Scheme." *Analytica Chimica Acta* 727: 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.03.040>.
- Liñán, E. 1978. "Bioestratigrafía de La Sierra de Córdoba." Tese de Doutoramento. Universidade de Granada.
- Linnemann, U., Gerdes, A., Drost, K. & Buschmann, B. 2007. "The Continuum between Cadomian Orogenesis and Opening of the Rheic Ocean: Constraints from LA-ICP-MS U-Pb Zircon Dating and Analysis of Plate-Tectonic Setting (Saxo-Thuringian Zone, Northeastern Bohemian Massif, Germany)." *Special papers-geological society of america* 423: 61. [https://doi.org/10.1130/2007.2423\(03\)](https://doi.org/10.1130/2007.2423(03)).
- Linnemann, U., Pereira, M.F., Jeffries, T., Drost, K. & Gerdes, A. 2008. "The Cadomian Orogeny and the Opening of the Rheic Ocean: The Diachrony of Geotectonic Processes Constrained by LA-ICP-MS U-Pb Zircon Dating (Ossa-Morena and Saxo-Thuringian Zones, Iberian and Bohemian Massifs)." *Tectonophysics* 461 (1–4): 21–43. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.05.002>.
- Locock, A. 2008. "An Excel Spreadsheet to Recast Analyses of Garnet into End-Member Components, and a Synopsis of the Crystal Chemistry of Natural Silicate Garnets." *Computers & Geosciences* 34 (12): 1769–80. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.12.013>.
- . 2014. "An Excel Spreadsheet to Classify Chemical Analyses of Amphiboles Following the IMA 2012 Recommendations." *Computers & Geosciences* 62: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.09.011>.
- López-Guijarro, R., Quesada, C., Fernández-Suárez, J., Jeffries, T. & Pin, C. 2007. "Age of the Rift-Drift Transition of the Rheic Ocean in the Ossa Morena Zone: K-Bentonite in the Early Ordovician Succession at 'Venta Del Ciervo.'" In *The Rootless Variscan Suture of NW Iberia (Galicia, Spain). Abstracts and Programme IGCP-497 Meeting, The Rheic Ocean: Its Origin, Evolution and Correlatives*, 142–43.
- Lotze, F. 1945. "Zur Gliederung Der Varisziden Der Iberischen Meseta." *Geotekt. Forschg.* 6: 78–92.
- Machado, G., Hladil, J., Slavík, L., Koptíková, L., Moreira, N., Fonseca, M. & Fonseca, P. 2010. "An Emsian-Eifelian Calciturbidite Sequence and the Possible Correlatable Pattern of the Basal Choteč Event in Western Ossa-Morena Zone, Portugal (Odivelas Limestone)." *Geologica Belgica*.
- Maniar, P., & Piccoli, P. 1989. "Tectonic Discrimination of Granitoids." *Geological Society of America*

- Martínez Catalán, J., Arenas, R. & Díez Balda, M. 2003. “Large Extensional Structures Developed during Emplacement of a Crystalline Thrust Sheet: The Mondoñedo Nappe (NW Spain).” *Journal of Structural Geology* 25 (11): 1815–39. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(03\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(03)00038-5).
- Martínez Catalán, J., Arenas, R., Díaz García, F., González Cuadra, P., Gómez-Barreiro, J., Abati, J., Castiñeiras, P., Fernández-Suárez, J., Sánchez Martínez, S. & Andonaegui, P. 2007. “Space and Time in the Tectonic Evolution of the Northwestern Iberian Massif: Implications for the Variscan Belt.” In *4-D Framework of Continental Crust*, 200:403–23. Geological Society of America Memoir Boulder, Colorado.
- Martínez Catalán, J., Arenas, R., Abati, J., Sánchez Martínez, S., Díaz García, F., Fernández Suárez, J., González Cuadra, P. et al. 2009. “A Rootless Suture and the Loss of the Roots of a Mountain Chain: The Variscan Belt of NW Iberia.” *Comptes Rendus Geoscience* 341 (2–3): 114–26. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2008.11.004>.
- Mata, J., & Munha, J. 1985. “Geochemistry of Mafic Metavolcanic Rocks from the Estremoz Region (South Central Portugal).” *Communicacoes Dos Servicos Geologicos de Portugal* 71/2, 175–185.
- . 1986. “Geodynamic Significance of High-Grade Metamorphic Rocks from Degolados-Campo Maior (Tomar-Badajoz-Córdoba Shear Zone).” *Maleo* 2 (13): 28.
- . 1990. “Magmatogénese de Metavulcanitos Câmbricos Do Nordeste Alentejano: Os Estádios Iniciais de" Rifting" Continental.” *Comunicações Dos Serviços Geológicos de Portugal* 76: 61–89.
- McDonough, W. F. & S. Sun. 1995. “The Composition of the Earth.” *Chemical Geology* 120 (3–4): 223–53. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4).
- Miyashiro, A. 1975. “Classification, Characteristics, and Origin of Ophiolites.” *The Journal of Geology*. <https://doi.org/10.1086/628085>.
- Moita, P., Munhá, J., Fonseca, P., Pedro, J., Araújo, A., Tassinari, C. e Palacios, T. 2005. “Phase Equilibria and Geochronology of Ossa-Morena Eclogites.” *Actas Do XIV Semana de Gequímica / VIII Congresso de Geoquímica Dos Países de Língua Portuguesa* 2: 471–74.
- Montero, P., Bea, F., Zinger, T., Scarrow, J., Molina, J. & Whitehouse, M. 2004. “55 Million Years of Continuous Anatexis in Central Iberia: Single-Zircon Dating of the Pena Negra Complex.” *Journal of the Geological Society* 161 (2): 255–63. <https://doi.org/10.1144/0016-764903-024>.
- Moreira, N., Araújo, A., Pedro, J. & Dias, R. 2014. “Evolução Geodinâmica Da Zona de Ossa-Morena No Contexto Do SW Ibérico Durante o Ciclo Varisco Geodynamic Evolution of Ossa-Morena Zone in SW Iberian Context during the Variscan Cycle.” *Comunicações Geológicas Especial I* 101: 275–78. <http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/185>.
- Moreira, N. 2017. “Evolução Geodinâmica Dos Sectores Setentrionais Da Zona de Ossa-Morena No Contexto Do Varisco Ibérico”. Tese Doutoramento. Universidade de Évora.
- Morimoto, N. 1988. “Nomenclature of Pyroxenes.” *Mineralogy and Petrology* 39 (1): 55–76. <https://doi.org/10.1007/BF01226262>.
- Murphy, J., Braid, J., Quesada, C., Dahn, D., Gladney, E. & Dupuis, N. 2016. “An Eastern

- Mediterranean Analogue for the Late Palaeozoic Evolution of the Pangaeen Suture Zone in SW Iberia.” *Geological Society, London, Special Publications* 424 (1): 241–63. <https://doi.org/10.1144/SP424.9>.
- Nance, R. D., Brendan Murphy, J. & Duncan Keppie, J. 2002. “A Cordilleran Model for the Evolution of Avalonia.” *Tectonophysics* 352 (1–2): 11–31. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(02\)00187-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00187-7).
- Nance, R., Gutiérrez-Alonso, G., Duncan Keppie, J., Linnemann, U., Murphy, J., Quesada, C., Strachan, R. & Woodcock, N. 2010. “Evolution of the Rheic Ocean.” *Gondwana Research* 17 (2–3): 194–222. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2009.08.001>.
- Nance, R. D., Gutiérrez-Alonso, G., Duncan Keppie, J., Linnemann, U., Brendan Murphy, J., Quesada, C., Strachan, R. & Woodcock, N. 2012. “A Brief History of the Rheic Ocean.” *Geoscience Frontiers* 3 (2): 125–35. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.11.008>.
- Ochsner, A. 1993. “U-Pb Geochronology of the Upper Proterozoic-Lower Paleozoic Geodynamic Evolution in the Ossa-Morena Zone (SW Iberia).” *PhD Thesis*. <http://e-collection.library.ethz.ch/view/eth:39266>.
- Oliveira, J. T., Oliveira, V. & Piçarra, J. M. 1991. “Traços Gerais Da Evolução Tectono-Estratigráfica Da Zona de Ossa-Morena, Em Portugal.” *Comunicações Dos Serviços Geológicos de Portugal* 77 (Fevereiro 2016): 3–26.
- Oliveira, J. T., Relvas, J., Pereira, Z., Munhá, J., Matos, J., Barriga, F. & Rosa, C. 2006. “O Complexo Vulcano-Sedimentar de Toca Da Moura—Cabrela (Zona de Ossa-Morena); Evolução Tectono-Estratigráfica e Mineralizações Associadas.” *Geologia de Portugal No Contexto Da Ibéria. Universidade de Évora, Évora*, 181–206.
- Oliveira, J. T., González-Clavijo, E., Alonso, J., Armendáriz, M., Bahamonde, J. R., Braid, J.A., Colmenero, J.R., Dias da Silva, Í., Fernandes, P. & Fernández, L.P. 2019. “Synorogenic Basins.” In *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach*, 349–429. Springer.
- Oliveira, R. 2020. “A Transição Entre Extremos Metamórficos Em Orógenos: Constrangimentos Petrológicos, Geoquímicos e Isotópicos Na Passagem Do Metamorfismo de Alta Pressão Ao de Alta Temperatura Na Zona de Ossa-Morena”. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa.
- Ordóñez Casado, B. 1998. “Geochronological Studies of the Pre-Mesozoic Basement of the Iberian Massif: The Ossa Morena Zone and the Allochthonous Complexes within the Central Iberian Zone.” ETH Zurich.
- Pearce, J., Harris, N. & Tindle, A. 1984. “Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks.” *Journal of Petrology*. <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>.
- Pearce, J. 2008. “Geochemical Fingerprinting of Oceanic Basalts with Applications to Ophiolite Classification and the Search for Archean Oceanic Crust.” *Lithos* 100 (1–4): 14–48. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.06.016>.
- Pedro, J. 2004. “Estudo Geológico e Geoquímico Das Sequências Ofiolíticas Internas Da Zona de Ossa-Morena (Portugal)”. Tese de Doutoramento. Universidade de Évora.
- Pedro, J., Araújo, A., Fonseca, P. & Munhá, J. 2005. “Sequências Ofiolíticas Internas Da Zona de Ossa-

- Morena: Implicações Geodinâmicas Na Evolução Da Cadeia Varisca Ibérica.” *Cadernos Do Laboratorio Xeoloxico de Laxe*.
- Pedro, J., Araújo, A., Fonseca, P., Tassinari, C. & Ribeiro, A. 2010. “Geochemistry and U-Pb Zircon Age of the Internal Ossa-Morena Zone Ophiolite Sequences: A Remnant of Rheic Ocean in SW Iberia.” *Ophioliti*. <https://doi.org/10.4454/phioliti.v35i2.390>.
- Pereira, M.F. & Silva, J.B. 2002. “Neoproterozoic-Paleozoic Tectonic Evolution of the Coimbra-Cordoba Shear Zone and Related Areas of the Ossa-Morena and Central-Iberian Zones (Northeast Alentejo , Portugal).” *Comunicações Geológicas* 89, 2002.
- Pereira, M. F., Silva, J.B., Chichorro, M., Moita, P., Santos, J., Apraiz, A., Ribeiro, C., Linnemann, U., Nance, R. & Kraft, P. 2007. “Crustal Growth and Deformational Processes in the Northern Gondwana Margin: Constraints from the Évora Massif (Ossa-Morena Zone, Southwest Iberia, Portugal).” *Special Papers-Geological Society of America* 423: 333.
- Pereira, M. F., Chichorro, M., Williams, I. & Silva, J.B. 2008. “Zircon U–Pb Geochronology of Paragneisses and Biotite Granites from the SW Iberian Massif (Portugal): Evidence for a Palaeogeographical Link between the Ossa–Morena Ediacaran Basins and the West African Craton.” *Geological Society, London, Special Publications* 297 (1): 385–408. <https://doi.org/10.1144/SP297.18>.
- Pereira, M. F., Chichorro, M., Williams, I., Silva, J.B., Fernández, C., Díaz-Azpiroz, M., Apraiz, M. & Castro, A. 2009. “Variscan Intra-Orogenic Extensional Tectonics in the Ossa-Morena Zone (Évora-Aracena-Lora Del Río Metamorphic Belt, SW Iberian Massif): SHRIMP Zircon U-Th-Pb Geochronology.” *Geological Society Special Publication* 327. <https://doi.org/10.1144/SP327.11>.
- Pereira, M. F. M. , Johnston, T. , Gutiérrez-Alonso, G., Silva, J. B., Linnemann, U., Hofmann, M. & Drost, K. 2012a. “The Missing Rheic Ocean Magmatic Arcs: Provenance Analysis of Late Paleozoic Sedimentary Clastic Rocks of SW Iberia.” *Gondwana Research*. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.03.010>.
- Pereira, M. F., Chichorro, M., Silva, J.B., Ordóñez-Casado, B., Lee, J. & Williams, I. 2012b. “Early Carboniferous Wrenching, Exhumation of High-Grade Metamorphic Rocks and Basin Instability in SW Iberia: Constraints Derived from Structural Geology and U–Pb and ⁴⁰Ar–³⁹Ar Geochronology.” *Tectonophysics* 558: 28–44. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.06.020>.
- Pereira, M.F., & Silva, J.B. 2006. “Nordeste Alentejano.” In *Geología de Portugal No Contexto Da Ibéria*, 145–150.
- Piçarra, J. 2000. “Estudo Estratigráfico Do Sector de Estremoz-Barrancos, Zona de Ossa Morena, Portugal.” Tese de Doutoramento. Universidade de Évora.
- Pin, C., Fonseca, P., Paquette, J., Castro, P. & Matte, P. 2008. “The ca. 350 Ma Beja Igneous Complex: A Record of Transcurrent Slab Break-off in the Southern Iberia Variscan Belt?” *Tectonophysics* 461 (1–4). <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.06.001>.
- Quesada, C. 2006. “The Ossa-Morena Zone of the Iberian Massif: A Tectonostratigraphic Approach to Its Evolution.” *Zeitschrift Der Deutschen Gesellschaft Für Geowissenschaften*. <https://doi.org/10.1127/1860-1804/2006/0157-0585>.
- Quesada, C., Apalategui, O., Eguiluz, L., Liñan, E. & Palacios, T. 1990. “Stratigraphy of Ossa - Morena

- Zone: Pre-Cambrian.” In *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, 252–58.
- . 1991. “Geological Constraints on the Paleozoic Tectonic Evolution of Tectonostratigraphic Terranes in the Iberian Massif.” *Tectonophysics* 185 (3–4): 225–45. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(91\)90446-Y](https://doi.org/10.1016/0040-1951(91)90446-Y).
- . 1997. “A Reappraisal of the Structure of the Spanish Segment of the Iberian Pyrite Belt.” *Mineralium Deposita* 33 (1–2): 31–44. <https://doi.org/10.1007/s001260050131>.
- Quesada, C., Braid, J. A., Fernandes, P., Ferreira, P., Jorge, R. S., Matos, J., Murphy, J. B., Oliveira, J. T., Pedro, J. & Pereira, Z.. 2019. “SW Iberia Variscan Suture Zone: Oceanic Affinity Units.” In . https://doi.org/10.1007/978-3-030-10519-8_5.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Mateus, A., Fonseca, P., Pereira, E., Noronha, F., Romão, J. et al. 2009. “Mechanics of Thick-Skinned Variscan Overprinting of Cadomian Basement (Iberian Variscides).” *Comptes Rendus - Geoscience*. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2008.12.003>.
- Ribeiro, M. L., Mata, J., Piçarra, J. M. 1992. “Vulcanismo Bimodal Da Região de Ficalho: Características Geoquímicas.” *Comunicações Geológicas Tomo 78-1*, 1992.
- Ribeiro, M.L., & Mata, J. 1994. “Early Paleozoic Evolution in NW Gondwana.” In *International Meeting Project 351*, 100–102. Faculty of Science, Mohammed V University, Rabat, Morocco.
- Rogers, A. & Kerr, P. 1942. *Optical Mineralogy*. McGraw-Hill New York.
- Rollinson, H. 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Routledge.
- Romeo, I., R., Capote, R., Quesada, C., Dunning, G. R., Piña, R. & Ortega, L. 2006. “U-Pb Age Constraints on Variscan Magmatism and Ni-Cu-PGE Metallogeny in the Ossa-Morena Zone (SW Iberia).” *Journal of the Geological Society* 163 (5). <https://doi.org/10.1144/0016-76492005-065>.
- Rosas, F. 2003. “Estudo tectónico do sector de Viana do Alentejo-Alvito: evolução geodinâmica e modelação analógica de estruturas em afloramentos chave (ramo Sul da Cadeia Varisca Ibérica-SW da zona de Ossa Morena)”. Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa.
- Rosas, F., Marques, F. O., Ballèvre, M. & Tassinari, C.. 2008. “Geodynamic Evolution of the SW Variscides: Orogenic Collapse Shown by New Tectonometamorphic and Isotopic Data from Western Ossa-Morena Zone, SW Iberia.” *Tectonics* 27 (6). <https://doi.org/10.1029/2008TC002333>.
- Roseiro, J., Moreira, N., Fonseca, R., Araújo, A., Maia, M., Pedro, J. & Nogueira, P. 2019. “Lithogeochemistry of Metabasites from the Moura Phyllonitic Complex (Ossa Morena Zone, SW Portugal).” In *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 21.
- Roseiro, J., Moreira, N., Nogueira, P., Maia, M., Araújo, A. & Pedro, J. 2020. “Depositional Environment and Passive-to-Active Margin Transition as Recorded by Trace Elements Chemistry of Lower-Middle Palaeozoic Detrital Units from the Ossa-Morena Zone (SW Iberia).” *Comunicações Geológicas* 107(Special issue 2): 39–46.
- Sánchez-García, T., Bellido, F., & Quesada, C. 2003. “Geodynamic Setting and Geochemical Signatures of Cambrian-Ordovician Rift-Related Igneous Rocks (Ossa-Morena Zone, SW Iberia).” *Tectonophysics* 365 (1–4): 233–55. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00024-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00024-6).

- Sánchez-García, T., Bellido, F., Pereira, M. F., López-Guijarro, R., Quesada, C., Chichorro, M., Silva, J. B., & Pin, C.. 2008a. “Expresión Magmática Temprana de Un Rift Intracontinental En El Margen de Gondwana Durante El Cámbrico Inferior: Zona de Ossa-Morena (SW Macizo Ibérico, Portugal, España).” *Geo-Temas* 10: 1567–72.
- Sánchez-García, T., Quesada, C., Bellido, F., Dunning, G. R. & González Del Tánago, J. 2008b. “Two-Step Magma Flooding of the Upper Crust during Rifting: The Early Paleozoic of the Ossa Morena Zone (SW Iberia).” *Tectonophysics* 461 (1–4): 72–90. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.03.006>.
- Sánchez-García, T., Bellido, F., Pereira, M. F., Chichorro, M., Quesada, C., Pin, C. & Silva, J. B. 2010. “Rift-Related Volcanism Predating the Birth of the Rheic Ocean (Ossa-Morena Zone, SW Iberia).” *Gondwana Research* 17 (2–3): 392–407. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2009.10.005>.
- Sánchez-García, T., Chichorro, M., Solá, A. R., Álvaro, J., Díez-Montes, A., F., Bellido, F., Ribeiro, M. L. *et al.* 2019. “The Cambrian-Early Ordovician Rift Stage in the Gondwanan Units of the Iberian Massif.” In . https://doi.org/10.1007/978-3-030-10519-8_2.
- Sánchez-García, T., Pereira, M. F., Bellido, F., Chichorro, M., Silva, J. B., Valverde-Vaquero, P., Pin, C. & Solá, A. R. 2014. “Early Cambrian Granitoids of North Gondwana Margin in the Transition from a Convergent Setting to Intra-Continental Rifting (Ossa-Morena Zone, SW Iberia).” *International Journal of Earth Sciences* 103 (5). <https://doi.org/10.1007/s00531-013-0939-8>.
- Santos, J., Mata, J., Gonçalves, F. & Munhá, J. 1987. “Contribuição Para o Conhecimento Geológico-Petrológico Da Região de Santa Susana: O Complexo Vulcano-Sedimentar Da Toca Da Moura.” *Comunicações Dos Servicos Geológicos de Portugal* 73 (1).
- Saunders, A., Norry, M. J. & Tarney, J. 1988. “Origin of MORB and Chemically-Depleted Mantle Reservoirs: Trace Element Constraints.” *Journal of Petrology*, no. 1: 415–45. https://doi.org/10.1093/petrology/Special_Volume.1.415.
- Silva, J. B., & Pereira, M. F. 2004. “Transcurrent Continental Tectonics Model for the Ossa-Morena Zone Neoproterozoic-Paleozoic Evolution, SW Iberian Massif, Portugal.” *International Journal of Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s00531-004-0424-5>.
- Simancas, J. F., Carbonell, R., González Lodeiro, F., Pérez Estaún, A., Juhlin, C., Ayarza, P., Kashubin, A. *et al.* 2006. “Transpressional Collision Tectonics and Mantle Plume Dynamics: The Variscides of Southwestern Iberia.” *Geological Society Memoir*. <https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.21>.
- Van Staal, C.R., Dewey, J.F., Mac Niocaill, C. & McKerrow, W.S. 1998. “The Cambrian-Silurian Tectonic Evolution of the Northern Appalachians and British Caledonides: History of a Complex, West and Southwest Pacific-Type Segment of Iapetus.” *Geological Society, London*, 197–242. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1998.143.01.17>
- Talavera, C., Montero, P. & Bea Barredo, F. 2008. “Precise Single-Zircon Pb-Pb Dating Reveals That Aljucén (Mérida) Is the Oldest Plutonic Body of the Central Iberian Zone.” *Geotemas (Madrid)*, no. 10: 250–52.
- Taylor, S. & McLennan, S. 1995. “The Geochemical Evolution of the Continental Crust.” *Reviews of Geophysics* 33 (2): 241–65. <https://doi.org/10.1029/95RG00262>.
- Teixeira, C. 1981. *Geologia de Portugal*. Fundação Calouste Gulbenkian. Serviço de Educação.

- Telhado, F. 2018. “Petrologia e Geoquímica Do Ortognaisse Das Alcáçovas e Rochas Associadas: Contributo Para a Compreensão Da Evolução Geodinâmica Da Zona de Ossa Morena”. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa.
- Tischendorf, G., Rieder, M., Förster, H., Gottesmann, B., Guidotti, C.. 2004. “A New Graphical Presentation and Subdivision of Potassium Micas.” *Mineralogical Magazine* 68 (4): 649–67.
<https://doi.org/10.1180/0026461046840210>
- Valle Aguado, B. & Azevedo, M.R. 2006. “Trajectórias PTt Na Cintura Metamórfica de Porto-Viseu: Implicações No Magmatismo Granítico.” In *VII Congresso Nacional de Geologia, Estremoz 2006. Livro de Resumos*, 1215–18.
- Winchester, J. A., Pharaoh, T. C., Verniers, J., Ioane, D. & Seghedi, A. 2006. “Palaeozoic Accretion of Gondwana-Derived Terranes to the East European Craton: Recognition of Detached Terrane Fragments Dispersed after Collision with Promontories.” *Geological Society Memoir* 32.
<https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.19>.
- Winter, J. 2014. *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. Pearson education Harlow, UK.
- Wood, D. A. 1980. “The Application of a Th-Hf-Ta Diagram to Problems of Tectonomagmatic British Tertiary Volcanic Province.” *Earth and Planetary Science Letters* 42: 77–97.

12 Anexos

12.1 Tabelas de litogeoquímica

Tabela 12.1 - Tabela de litogeoquímica com as análises elementares das amostras félsicas.

Amostra	PMT-1	PMT-2	PMT-3	PMT-5	PMT-12A	PMT-17
Litologia	Félsicas					
SiO ₂	88.19	87.83	77.27	79	71.7	64.5
Al ₂ O ₃	6.73	6.86	13.03	11.9	14.5	17.9
Fe ₂ O _{3(T)}	1.28	1.08	1.14	0.6	3.5	4.59
MnO	0.013	0.012	0.009	0.007	0.041	0.04
MgO	0.17	0.17	0.14	0.03	0.63	0.03
CaO	0.05	0.16	0.25	0.43	0.76	0.04
Na ₂ O	0.31	0.86	5.9	5.55	7.59	7.06
K ₂ O	1.86	2.09	0.2	0.84	0.24	5.49
TiO ₂	0.451	0.455	0.295	0.154	0.278	0.17
P ₂ O ₅	< 0.01	0.05	< 0.01	< 0.01	0.03	0.03
LOI	1.41	0.98	2.06	0.45	0.87	0.55
Total	99.054	99.567	98.234	98.511	99.269	100.4
Sc	4	4	8	3	8	1
Be	1	1	< 1	2	< 1	
V	25	25	12	< 5	33	<5
Ba	369	360	21	187	119	165
Sr	12	32	40	34	35	34.1
Y	21	21	57	49	59	73.2
Zr	529	511	260	293	286	1800
Cr	20	20	< 20	< 20	< 20	<10
Co	56	53	151	37	40	2
Ni	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	<1

Cu	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	2
Zn	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	18
Ga	8	8	19	23	17	34.2
Ge	1	1	< 1	1	< 1	<5
As	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	0.7
Rb	50	59	7	15	4	124.5
Nb	7	8	5	7	3	277
Mo	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	<1
Ag	2.2	2.2	1.1	1.1	1.2	<0.5
In	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.051
Sn	1	1	2	5	1	8
Sb	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.37
Cs	0.7	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.43
La	22.7	31.4	44.5	23.9	10.2	66.1
Ce	54.8	72.8	94	33.5	25.4	150
Pr	5.46	7.08	11	5.65	3.36	15.25
Nd	21	27.1	44.4	22.5	15.3	49.1
Sm	4.1	5.1	10.4	4.9	4.4	9.46
Eu	0.72	0.88	1.59	0.64	0.76	0.45
Gd	3.6	4.2	9.6	5.7	5.7	7.86
Tb	0.5	0.6	1.6	1	1.2	1.76
Dy	3.2	3.4	9.7	7.5	8.7	12.7
Ho	0.7	0.7	2	1.8	2	2.88
Er	2	2	5.9	5.8	6.3	9.15
Tm	0.29	0.31	0.93	0.92	0.95	1.49
Yb	2.1	2	6.1	6.3	6.9	9.85
Lu	0.36	0.34	0.93	0.99	1.04	1.64

Hf	12.7	12.2	6.4	9.6	7.4	38.3
Ta	0.9	0.9	0.6	0.8	0.3	17.5
W	550	532	799	375	352	3
Tl	0.2	0.3	< 0.1	< 0.1	< 0.1	<0.02
Pb	< 5	5	< 5	< 5	< 5	<2
Bi	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	0.03
Th	20.8	21	9.5	10.4	3.5	24.2
U	3	3	2.5	4.3	1	7.68

Tabela 12.2 - Tabela de litogeoquímica com as análise elementares das amostras básicas.

Amostr a	PMT-4	PMT-6	PMT-7	PMT- 8C	PMT- 9A	PMT- 9B
Litolog ia	Básicas					
SiO ₂	48.31	47.62	49.66	42.83	48.47	50.92
Al ₂ O ₃	14.98	15.43	14.66	15.26	16.08	15.13
Fe ₂ O _{3(T)}	8.68	11.28	10.91	13.97	9.64	9.43
MnO	0.19	0.195	0.216	0.173	0.183	0.182
MgO	4.14	3.96	4.07	8.25	7.28	7.24
CaO	17.8	14.49	11	9.35	10.84	10.9
Na ₂ O	2.51	2.97	3.75	2.79	3.63	3.78
K ₂ O	0.59	0.47	1.08	0.05	0.42	0.25
TiO ₂	0.964	1.671	1.929	3.546	1.401	0.973
P ₂ O ₅	0.07	0.19	0.26	0.51	0.16	0.09
LOI	2.4	1.99	1.41	3.67	1.09	1.11
Total	98.234	98.276	97.535	96.729	98.10 4	98.895
Sc	33	38	38	22	33	26

Be	< 1	< 1	1	< 1	< 1	1
V	163	239	256	301	230	173
Ba	224	127	203	37	150	68
Sr	941	440	377	1457	246	242
Y	17	24	28	25	20	14
Zr	64	125	147	213	96	65
Cr	400	190	50	290	290	320
Co	54	55	51	53	47	55
Ni	190	100	60	180	130	140
Cu	30	30	< 10	40	20	< 10
Zn	100	80	80	110	110	100
Ga	11	18	17	21	15	13
Ge	2	2	2	2	1	1
As	22	5	< 5	< 5	< 5	< 5
Rb	18	15	41	< 2	5	3
Nb	< 1	8	12	49	6	3
Mo	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Ag	< 0.5	0.5	0.6	0.7	< 0.5	< 0.5
In	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Sn	1	1	1	2	1	1
Sb	0.7	3.1	2	1	< 0.5	< 0.5
Cs	0.6	0.7	1	< 0.5	< 0.5	< 0.5
La	2.3	8.4	13.4	37.6	7.2	4.1
Ce	7.2	21.3	30.9	75.5	17.5	10.5
Pr	1.15	2.88	4.11	9.06	2.36	1.51
Nd	6.4	13.9	18.8	38.1	11.6	7.9
Sm	2.2	3.9	4.9	7.8	3.2	2.4

Eu	0.9	1.42	1.78	2.71	1.31	1.07
Gd	2.9	4.6	5.5	7.5	3.7	2.9
Tb	0.5	0.8	0.9	1	0.6	0.5
Dy	3.2	4.7	5.5	5.4	3.8	3.1
Ho	0.7	1	1.1	1	0.8	0.6
Er	2	2.7	3.1	2.6	2.1	1.8
Tm	0.29	0.38	0.43	0.34	0.29	0.24
Yb	1.8	2.6	2.9	2	2	1.5
Lu	0.28	0.38	0.43	0.29	0.3	0.25
Hf	1.7	3.1	3.6	5.2	2.5	1.7
Ta	< 0.1	0.7	0.9	3.2	0.5	0.3
W	92	130	78	40	76	101
Tl	0.2	< 0.1	0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Pb	34	12	7	20	8	6
Bi	0.5	1	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Th	0.2	0.7	1.2	4.2	0.5	0.3
U	0.1	0.2	0.3	1.1	0.2	0.1
Amostr a	PMT- 9C	PMT- 11A	PMT- 12B	PMT- 13	PMT- 14	PMT-16
Litolog ia	Básicas					
SiO ₂	47.24	49.34	51.85	42.1	51.03	44.59
Al ₂ O ₃	17.36	14.5	14.04	15.55	14.2	20.12
Fe ₂ O ₃ (T)	9.79	12.62	12.31	13.44	10.65	7.44
MnO	0.187	0.236	0.352	0.203	0.184	0.115
MgO	4.67	7.04	5.25	4.29	6.19	8.64
CaO	13.44	10.32	6.57	19.75	9.97	10.66
Na ₂ O	2.13	3.18	4.17	0.37	3.61	3.05

K ₂ O	2.16	0.39	0.93	0.07	0.35	0.22
TiO ₂	0.888	1.773	2.301	2.059	1.871	0.669
P ₂ O ₅	0.05	0.17	0.21	0.23	0.28	0.04
LOI	2.67	1.01	1.34	2.42	1.41	4.83
Total	97.915	99.569	97.983	98.062	98.335	95.544
Sc	32	47	40	38	42	25
Be	< 1	< 1	< 1	< 1	1	< 1
V	158	365	384	301	316	158
Ba	487	25	256	15	119	57
Sr	351	264	143	873	303	114
Y	17	31	34	27	24	13
Zr	43	109	103	142	131	32
Cr	840	240	20	80	50	350
Co	53	52	36	42	44	49
Ni	240	90	30	80	70	200
Cu	40	70	10	10	< 10	50
Zn	80	90	50	60	80	60
Ga	14	17	21	25	20	13
Ge	1	2	2	2	2	< 1
As	21	< 5	5	< 5	< 5	< 5
Rb	65	15	34	< 2	8	6
Nb	2	4	2	10	12	< 1
Mo	< 2	< 2	2	< 2	< 2	< 2
Ag	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.5	0.5	< 0.5
In	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Sn	1	1	2	1	1	< 1
Sb	1.2	< 0.5	1.7	7.6	1.2	< 0.5

Cs	2.3	0.5	1.3	< 0.5	0.7	< 0.5
La	2.8	5.6	5.5	11.4	16.7	0.9
Ce	6.7	14.9	13.9	28.2	37.8	3.3
Pr	0.99	2.28	2.08	3.77	4.86	0.62
Nd	5.6	12.1	10.9	18.1	22.2	3.7
Sm	1.9	4	3.8	5.2	5.4	1.4
Eu	0.74	1.43	1.65	1.82	2.22	0.62
Gd	2.7	5.2	5.5	5.7	5.6	2
Tb	0.5	0.9	0.9	1	0.8	0.3
Dy	3.1	6	6.4	5.6	4.9	2.3
Ho	0.7	1.2	1.4	1.1	1	0.5
Er	1.9	3.6	4.1	3.2	2.6	1.4
Tm	0.28	0.54	0.59	0.45	0.37	0.2
Yb	1.8	3.4	3.9	2.9	2.4	1.3
Lu	0.27	0.53	0.63	0.46	0.35	0.2
Hf	1.3	2.8	3.3	3.8	3.2	0.8
Ta	0.2	0.3	0.2	0.8	0.9	< 0.1
W	116	79	144	134	98	49
Tl	0.2	< 0.1	0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Pb	26	7	< 5	5	6	5
Bi	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Th	0.2	0.3	1.3	0.8	0.9	< 0.1
U	< 0.1	0.2	0.7	0.3	0.4	< 0.1

12.2 Tabelas da Química Mineral

12.2.1 Feldspatos

Tabela 12.3 - Análise composicional e forma estrutural dos feldspatos das amostras básicas.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	SrO	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	Si	Ti	Al	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	X _{an}	X _{ab}	X _{or}
PMT-4	68.268	0.036	19.170	0.573	0.048	1.538	0.938	0.251	0.000	10.560	0.065	2.955	0.001	0.978	0.000	0.021	0.000	0.002	0.099	0.044	0.886	0.004	0.047	0.949	0.004
	66.161	0.024	20.062	0.239	0.029	0.385	1.470	0.368	0.000	10.102	0.059	2.938	0.001	1.050	0.000	0.009	0.000	0.001	0.026	0.070	0.870	0.003	0.074	0.923	0.003
	67.731	0.000	20.066	0.096	0.000	0.028	1.105	0.448	0.000	10.378	0.040	2.971	0.000	1.038	0.000	0.004	0.000	0.000	0.002	0.052	0.883	0.002	0.055	0.942	0.002
	67.380	0.038	19.518	0.021	0.000	0.018	0.710	0.176	0.000	10.738	0.050	2.985	0.001	1.019	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.034	0.922	0.003	0.035	0.961	0.003
	67.034	0.026	20.530	0.016	0.072	0.000	1.298	0.395	0.014	10.570	0.053	2.944	0.001	1.063	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.061	0.900	0.003	0.063	0.934	0.003
	67.311	0.011	19.794	0.213	0.000	0.148	1.095	0.122	0.000	10.474	0.177	2.966	0.000	1.028	0.000	0.008	0.000	0.000	0.010	0.052	0.895	0.010	0.054	0.935	0.010
	65.415	0.000	21.170	0.225	0.007	0.200	1.646	0.487	0.038	9.467	0.761	2.903	0.000	1.107	0.000	0.009	0.000	0.000	0.013	0.078	0.815	0.043	0.083	0.871	0.046
	65.018	0.002	22.089	0.215	0.000	0.078	0.779	0.084	0.052	9.519	1.881	2.878	0.000	1.153	0.000	0.008	0.000	0.000	0.005	0.037	0.817	0.106	0.039	0.851	0.110
PMT-6	64.909	0.000	22.339	0.139	0.049	0.017	1.211	0.168	0.075	9.356	1.398	2.872	0.000	1.165	0.000	0.005	0.000	0.002	0.001	0.057	0.803	0.079	0.061	0.855	0.084
	66.947	0.000	20.384	0.164	0.000	0.178	0.933	0.046	0.000	10.674	0.509	2.942	0.000	1.056	0.000	0.006	0.000	0.000	0.012	0.044	0.909	0.029	0.045	0.926	0.030
	68.960	0.000	18.929	0.055	0.289	0.000	0.411	0.000	0.000	11.253	0.034	3.013	0.000	0.975	0.000	0.002	0.000	0.011	0.000	0.019	0.953	0.002	0.020	0.978	0.002

	67.110	0.009	20.220	0.377	0.02 6	0.04 9	0.74 5	0.12 2	0.06 6	10.27 8	0.96 8	2.95 1	0.00 0	1.04 8	0.00 0	0.01 4	0.00 0	0.00 1	0.00 3	0.03 5	0.87 6	0.05 4	0.03 6	0.90 8	0.05 6
	64.288	0.053	22.665	0.234	0.00 0	0.02 9	1.36 0	0.00 0	0.00 0	8.845	2.16 6	2.84 9	0.00 2	1.18 5	0.00 0	0.00 9	0.00 0	0.00 0	0.00 2	0.06 5	0.76 1	0.12 3	0.06 8	0.80 2	0.13 0
	67.965	0.000	20.200	0.095	0.01 7	0.01 4	1.37 9	0.09 3	0.01 4	10.78 1	0.02 0	2.95 9	0.00 0	1.03 7	0.00 0	0.00 4	0.00 0	0.00 1	0.00 1	0.06 4	0.91 0	0.00 1	0.06 6	0.93 3	0.00 1
	68.804	0.023	19.078	0.098	0.02 4	0.00 0	0.59 4	0.08 7	0.00 0	11.34 0	0.04 5	3.00 5	0.00 1	0.98 2	0.00 0	0.00 4	0.00 0	0.00 1	0.00 0	0.02 8	0.96 0	0.00 3	0.02 8	0.96 9	0.00 3
	67.172	0.010	20.048	0.097	0.00 0	0.01 1	0.84 6	0.09 5	0.00 0	10.60 0	0.64 5	2.96 0	0.00 0	1.04 2	0.00 0	0.00 4	0.00 0	0.00 0	0.00 1	0.04 0	0.90 6	0.03 7	0.04 1	0.92 2	0.03 8
	67.856	0.000	19.354	0.406	0.03 7	0.01 9	0.57 3	0.09 0	0.00 0	10.96 9	0.11 8	2.98 5	0.00 0	1.00 4	0.00 0	0.01 5	0.00 0	0.00 1	0.00 1	0.02 7	0.93 6	0.00 7	0.02 8	0.96 5	0.00 7
	67.822	0.000	19.845	0.093	0.00 0	0.01 9	0.48 1	0.00 0	0.05 9	10.87 2	0.25 6	2.97 9	0.00 0	1.02 8	0.00 0	0.00 3	0.00 0	0.00 0	0.00 1	0.02 3	0.92 6	0.01 5	0.02 4	0.96 1	0.01 6
	66.332	0.000	20.796	0.225	0.00 0	0.08 4	0.33 7	0.00 0	0.00 0	9.990	1.38 9	2.93 5	0.00 0	1.08 5	0.00 0	0.00 9	0.00 0	0.00 0	0.00 5	0.01 6	0.85 7	0.07 8	0.01 7	0.90 1	0.08 2
	65.364	0.018	21.302	0.380	0.05 7	0.13 2	0.63 0	0.00 0	0.02 6	9.436	1.78 7	2.90 3	0.00 1	1.11 5	0.00 0	0.01 4	0.00 0	0.00 2	0.00 9	0.03 0	0.81 3	0.10 1	0.03 2	0.86 1	0.10 7
	67.316	0.003	20.040	0.133	0.00 0	0.02 6	0.62 8	0.08 0	0.09 2	11.03 9	0.27 4	2.96 2	0.00 0	1.03 9	0.00 0	0.00 5	0.00 0	0.00 0	0.00 2	0.03 0	0.94 2	0.01 5	0.03 0	0.95 4	0.01 5
	68.076	0.000	19.734	0.042	0.00 0	0.00 6	0.64 8	0.02 3	0.04 5	11.11 3	0.04 9	2.98 2	0.00 0	1.01 9	0.00 0	0.00 1	0.00 0	0.00 0	0.00 1	0.03 1	0.94 4	0.00 3	0.03 2	0.96 5	0.00 3
	67.037	0.000	20.559	0.166	0.01 7	0.07 2	0.78 3	0.07 4	0.00 0	10.53 1	0.82 1	2.94 1	0.00 0	1.06 3	0.00 0	0.00 6	0.00 0	0.00 1	0.00 5	0.03 7	0.89 6	0.04 6	0.03 8	0.91 5	0.04 7
PMT-7	62.956	0.000	22.981	0.319	0.02 6	0.26 6	1.50 5	0.08 3	0.00 0	8.325	3.07 7	2.81 3	0.00 0	1.21 0	0.00 0	0.01 2	0.00 0	0.00 1	0.01 8	0.07 2	0.72 2	0.17 6	0.07 4	0.74 4	0.18 1
	68.312	0.000	18.987	0.081	0.01 4	0.00 0	0.15 6	0.10 2	0.01 6	11.09 1	0.03 3	3.01 5	0.00 0	0.98 8	0.00 0	0.00 3	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 8	0.94 9	0.00 2	0.00 8	0.99 0	0.00 2
	63.850	0.000	22.166	0.506	0.00 0	0.21 3	1.51 7	0.10 3	0.02 1	8.973	1.50 2	2.85 1	0.00 0	1.16 7	0.00 0	0.01 9	0.00 0	0.00 0	0.01 4	0.07 3	0.77 7	0.08 5	0.07 8	0.83 1	0.09 1

	65.281	0.024	20.559	0.202	0.03 0	0.00 0	1.86 2	0.15 5	0.08 0	10.04 0	0.15 2	2.91 7	0.00 1	1.08 3	0.00 0	0.00 7	0.00 0	0.00 1	0.00 0	0.08 9	0.87 0	0.00 9	0.09 2	0.89 9	0.00 9
	67.204	0.000	19.380	0.406	0.00 0	0.61 6	0.68 7	0.11 3	0.02 6	10.93 8	0.19 2	2.96 1	0.00 0	1.00 7	0.00 0	0.01 5	0.00 0	0.00 0	0.04 1	0.03 3	0.93 5	0.01 1	0.03 4	0.95 5	0.01 1
PMT-11	58.277	0.000	25.730	0.111	0.00 0	0.02 8	8.37 0	0.20 9	0.03 1	6.485	0.07 8	2.62 6	0.00 0	1.36 7	0.00 0	0.00 4	0.00 0	0.00 0	0.00 2	0.40 4	0.56 7	0.00 5	0.41 4	0.58 1	0.00 5
	57.895	0.034	25.752	0.258	0.00 0	0.00 0	7.96 7	0.09 0	0.00 2	6.711	0.07 5	2.62 0	0.00 1	1.37 4	0.00 0	0.01 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.38 6	0.58 9	0.00 5	0.39 4	0.60 1	0.00 5
	57.783	0.000	25.643	0.226	0.02 7	0.00 0	8.59 7	0.18 8	0.01 4	6.310	0.05 4	2.61 8	0.00 0	1.36 9	0.00 0	0.00 9	0.00 0	0.00 1	0.00 0	0.41 7	0.55 4	0.00 3	0.42 8	0.56 9	0.00 3
PMT-14	68.679	0.035	19.010	0.092	0.00 4	0.02 0	0.21 5	0.00 0	0.00 0	11.27 9	0.04 3	3.01 3	0.00 1	0.98 3	0.00 0	0.00 3	0.00 0	0.00 0	0.00 1	0.01 0	0.95 9	0.00 2	0.01 0	0.00 2	0.98 8
	68.976	0.050	19.120	0.096	0.00 0	0.00 4	0.05 8	0.05 6	0.01 9	11.44 9	0.04 0	3.01 3	0.00 2	0.98 5	0.00 0	0.00 4	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 3	0.97 0	0.00 2	0.00 3	0.00 2	0.99 5
	68.733	0.000	18.947	0.160	0.00 5	0.00 2	0.15 3	0.00 0	0.00 0	11.49 6	0.07 1	3.01 2	0.00 0	0.97 9	0.00 0	0.00 6	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 7	0.97 7	0.00 4	0.00 7	0.00 4	0.98 9
	68.676	0.000	18.687	0.075	0.01 6	0.02 8	0.27 2	0.00 0	0.00 0	11.46 1	0.03 1	3.01 9	0.00 0	0.96 9	0.00 0	0.00 3	0.00 0	0.00 1	0.00 2	0.01 3	0.97 7	0.00 2	0.01 3	0.00 2	0.98 5
	68.885	0.018	18.891	0.085	0.00 0	0.04 0	0.16 9	0.00 0	0.00 0	11.40 7	0.07 7	3.01 7	0.00 1	0.97 5	0.00 0	0.00 3	0.00 0	0.00 0	0.00 3	0.00 8	0.96 9	0.00 4	0.00 8	0.00 4	0.98 8
	68.945	0.000	19.115	0.142	0.00 9	0.00 0	0.17 3	0.00 0	0.00 0	11.30 7	0.10 6	3.01 2	0.00 0	0.98 5	0.00 0	0.00 5	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 8	0.95 8	0.00 6	0.00 8	0.00 6	0.98 6
	65.443	0.000	21.549	0.322	0.00 0	0.12 4	0.59 7	0.06 0	0.02 1	9.504	1.49 2	2.90 2	0.00 0	1.12 7	0.00 0	0.01 2	0.00 0	0.00 0	0.00 8	0.02 9	0.81 7	0.08 4	0.03 1	0.09 0	0.87 8
	68.891	0.000	19.032	0.103	0.00 0	0.00 0	0.11 1	0.08 1	0.00 0	11.49 2	0.03 4	3.01 4	0.00 0	0.98 2	0.00 0	0.00 4	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 5	0.97 5	0.00 2	0.00 5	0.00 2	0.99 3
	68.779	0.005	19.081	0.066	0.00 0	0.00 0	0.09 7	0.09 1	0.02 4	11.52 3	0.04 9	3.01 2	0.00 0	0.98 5	0.00 0	0.00 3	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 5	0.97 8	0.00 3	0.00 5	0.00 3	0.99 2
	68.587	0.000	19.204	0.023	0.01 5	0.00 0	0.15 9	0.00 0	0.06 4	11.30 6	0.06 7	3.00 9	0.00 0	0.99 3	0.00 0	0.00 1	0.00 0	0.00 1	0.00 0	0.00 8	0.96 2	0.00 4	0.00 8	0.00 4	0.98 8

	68.735	0.000	18.837	0.042	0.026	0.000	0.159	0.054	0.000	11.594	0.079	3.016	0.000	0.975	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.008	0.986	0.004	0.008	0.004	0.988
	67.919	0.000	19.442	0.074	0.033	0.000	0.418	0.000	0.066	11.326	0.058	2.989	0.000	1.008	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.020	0.967	0.003	0.020	0.003	0.977
	69.123	0.000	18.755	0.010	0.012	0.016	0.112	0.000	0.000	11.635	0.074	3.023	0.000	0.967	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005	0.987	0.004	0.005	0.004	0.991
	68.893	0.014	19.218	0.028	0.017	0.000	0.491	0.008	0.000	11.270	0.051	3.006	0.000	0.989	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.023	0.954	0.003	0.023	0.003	0.973
	57.228	0.000	26.760	0.135	0.000	0.034	8.325	0.164	0.104	5.815	0.310	2.590	0.000	1.428	0.000	0.005	0.000	0.000	0.002	0.404	0.511	0.018	0.433	0.019	0.548
PMT-16	69.671	0.000	19.104	0.043	0.038	0.005	0.101	0.035	0.000	11.365	0.058	3.023	0.000	0.977	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.005	0.957	0.003	0.005	0.992	0.003
	69.018	0.006	18.931	0.052	0.000	0.002	0.073	0.092	0.016	11.442	0.064	3.021	0.000	0.977	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.003	0.971	0.003	0.003	0.994	0.003
	68.956	0.000	18.626	0.077	0.005	0.000	0.176	0.139	0.056	11.273	0.054	3.029	0.000	0.965	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.008	0.960	0.003	0.008	0.989	0.003
	69.271	0.000	18.764	0.090	0.000	0.000	0.128	0.007	0.000	11.335	0.051	3.028	0.000	0.967	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.006	0.961	0.003	0.006	0.991	0.003
	69.461	0.000	18.372	0.036	0.000	0.001	0.137	0.000	0.000	11.378	0.069	3.042	0.000	0.948	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.007	0.966	0.004	0.007	0.989	0.004
	68.354	0.027	18.037	0.099	0.000	0.009	0.228	0.000	0.049	11.124	0.064	3.040	0.001	0.946	0.000	0.004	0.000	0.000	0.001	0.011	0.959	0.003	0.011	0.986	0.003
	69.320	0.000	18.203	0.075	0.012	0.005	0.141	0.000	0.019	11.427	0.065	3.043	0.000	0.942	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.007	0.973	0.004	0.007	0.989	0.004
	69.025	0.000	19.194	0.059	0.001	0.000	0.052	0.150	0.021	10.956	0.068	3.021	0.000	0.990	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.930	0.004	0.002	0.994	0.004
	68.847	0.037	19.257	0.030	0.035	0.005	0.205	0.000	0.000	10.966	0.087	3.013	0.001	0.994	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.010	0.931	0.005	0.011	0.984	0.005
	68.269	0.000	17.159	0.144	0.000	0.000	0.151	-	-	10.295	0.066	3.080	0.000	0.913	0.003	0.005	0.000	0.000	0.000	0.007	0.901	0.004	0.008	0.988	0.004

68.023	0.000	17.188	0.140	0.002	0.000	0.174	-	-	10.170	0.070	3.078	0.000	0.917	0.003	0.005	0.000	0.000	0.000	0.008	0.892	0.004	0.009	0.987	0.004
68.994	0.000	18.124	0.130	0.003	0.000	0.106	-	-	9.311	0.053	3.075	0.000	0.952	0.004	0.005	0.000	0.000	0.000	0.005	0.805	0.003	0.006	0.990	0.004
68.890	0.020	19.310	0.055	0.000	0.000	0.108	0.000	0.028	11.642	0.054	3.004	0.001	0.993	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.005	0.984	0.003	0.005	0.992	0.003
69.019	0.000	19.147	0.022	0.000	0.010	0.201	0.002	0.007	11.719	0.057	3.008	0.000	0.984	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.009	0.990	0.003	0.009	0.988	0.003
69.235	0.000	19.110	0.048	0.000	0.000	0.145	0.000	0.000	11.678	0.066	3.013	0.000	0.980	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.007	0.985	0.004	0.007	0.989	0.004
68.687	0.000	19.230	0.048	0.000	0.014	0.114	0.063	0.000	11.573	0.047	3.006	0.000	0.992	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.005	0.982	0.003	0.005	0.992	0.003
69.263	0.000	19.053	0.020	0.000	0.000	0.110	0.000	0.028	11.581	0.043	3.018	0.000	0.979	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.005	0.978	0.002	0.005	0.993	0.002

Tabela 12.4 - Análise composicional e forma estrutural dos feldspatos das amostras félsicas.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	SrO	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	Si	Ti	Al	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	X _{an}	X _{ab}	X _{or}
PMT-2	64.805	0.032	17.999	0.042	0.052	0.000	0.010	0.059	0.196	0.228	16.595	3.007	0.001	0.985	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.021	0.983	0.000	0.021	0.979
	65.682	0.000	18.141	0.002	0.000	0.004	0.016	0.050	0.224	0.373	16.508	3.014	0.000	0.981	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.033	0.966	0.001	0.033	0.966
	65.570	0.004	17.518	0.031	0.000	0.007	0.047	0.031	0.303	0.763	15.341	3.037	0.000	0.957	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.068	0.906	0.002	0.070	0.928
	65.101	0.019	17.677	0.006	0.000	0.006	0.026	0.000	0.298	0.776	15.394	3.026	0.001	0.969	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.070	0.913	0.001	0.071	0.928
	64.179	0.000	18.170	0.248	0.052	0.000	0.008	0.071	0.324	0.361	15.887	2.997	0.000	1.000	0.000	0.010	0.000	0.002	0.000	0.001	0.033	0.947	0.001	0.034	0.965
	63.632	0.001	18.113	0.236	0.035	0.000	0.009	0.000	0.482	0.251	15.882	2.994	0.000	1.005	0.000	0.009	0.000	0.002	0.000	0.001	0.023	0.953	0.001	0.024	0.975
	64.903	0.085	18.063	0.064	0.007	0.003	0.005	0.032	0.193	0.446	15.908	3.009	0.003	0.987	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.941	0.000	0.041	0.959
	65.239	0.000	17.922	0.000	0.015	0.010	0.000	0.000	0.286	0.480	15.965	3.019	0.000	0.978	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.043	0.943	0.000	0.044	0.956
	63.807	0.008	17.790	0.000	0.000	0.000	0.008	0.146	0.348	0.621	15.886	3.006	0.000	0.988	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.057	0.955	0.001	0.056	0.943

	65.576	0.025	18.212	0.037	0.011	0.000	0.031	0.188	0.503	0.365	16.358	3.010	0.001	0.985	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.033	0.958	0.001	0.033	0.966
PMT-3	69.044	0.024	19.272	0.065	0.000	0.001	0.316	0.015	0.000	11.161	0.034	3.011	0.001	0.991	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.015	0.944	0.002	0.016	0.982	0.002
	68.120	0.025	18.625	0.062	0.014	0.000	0.681	0.127	0.000	11.664	0.049	3.005	0.001	0.969	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.032	0.997	0.003	0.031	0.966	0.003
	69.475	0.010	19.310	0.037	0.070	0.000	0.422	0.091	0.054	11.364	0.028	3.009	0.000	0.986	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.019	0.954	0.002	0.019	0.978	0.002
	68.096	0.000	19.137	0.037	0.000	0.000	0.427	0.160	0.000	11.167	0.034	3.003	0.000	0.995	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.020	0.955	0.002	0.020	0.977	0.002
	69.045	0.005	19.052	0.037	0.032	0.000	0.492	0.104	0.035	10.986	0.038	3.017	0.000	0.981	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.023	0.931	0.002	0.024	0.974	0.002
	68.855	0.004	19.323	0.071	0.026	0.014	0.208	0.000	0.054	11.485	0.031	3.004	0.000	0.994	0.000	0.003	0.000	0.001	0.001	0.010	0.972	0.002	0.010	0.988	0.002
PMT-12A	67.731	0.000	19.696	0.043	0.036	0.024	0.214	12.607	0.083	0.000	0.014	2.962	0.000	1.016	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.010	1.069	0.004	0.009	0.987	0.004
	67.691	0.000	19.595	0.068	0.076	0.035	0.215	12.719	0.090	0.055	0.009	2.961	0.000	1.011	0.000	0.003	0.000	0.003	0.003	0.010	1.079	0.005	0.009	0.986	0.005
	69.334	0.000	19.111	0.037	0.030	0.000	0.044	12.118	0.046	0.171	0.000	3.009	0.000	0.978	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.002	1.020	0.003	0.002	0.995	0.003
	69.166	0.000	19.179	0.003	0.000	0.000	0.038	12.202	0.052	0.007	0.016	3.005	0.000	0.982	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	1.028	0.003	0.002	0.995	0.003
	69.375	0.000	18.634	0.028	0.000	0.002	0.019	12.100	0.061	0.051	0.016	3.024	0.000	0.957	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	1.023	0.003	0.001	0.996	0.003
	69.252	0.000	18.665	0.055	0.006	0.003	0.056	11.998	0.042	0.000	0.009	3.022	0.000	0.961	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.003	1.015	0.002	0.003	0.995	0.002
	68.540	0.026	18.717	0.039	0.000	0.000	0.151	11.874	0.103	0.200	0.000	3.013	0.001	0.970	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.007	1.012	0.006	0.007	0.987	0.006
	68.588	0.026	18.517	0.000	0.032	0.000	0.161	12.003	0.039	0.177	0.031	3.018	0.001	0.961	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.008	1.024	0.002	0.008	0.990	0.002
	68.224	0.000	18.714	0.044	0.001	0.023	0.500	12.094	0.051	0.016	0.007	3.000	0.000	0.970	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.024	1.031	0.003	0.023	0.974	0.003
	68.650	0.000	18.728	0.000	0.000	0.000	0.524	12.040	0.048	0.002	0.000	3.006	0.000	0.967	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	1.022	0.003	0.023	0.974	0.003
	68.511	0.028	18.676	0.026	0.000	0.000	0.080	12.083	0.067	0.027	0.026	3.012	0.001	0.968	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.004	1.030	0.004	0.004	0.992	0.004
	68.977	0.028	18.734	0.157	0.000	0.000	0.191	12.132	0.093	0.020	0.035	3.010	0.001	0.963	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.009	1.026	0.005	0.009	0.987	0.005
	68.890	0.000	18.727	0.034	0.000	0.000	0.041	12.169	0.055	0.105	0.061	3.015	0.000	0.966	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	1.033	0.003	0.002	0.995	0.003
	69.584	0.028	19.127	0.000	0.000	0.010	0.196	12.402	0.042	0.025	0.071	3.004	0.001	0.974	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.009	1.038	0.002	0.009	0.990	0.002
	68.023	0.001	18.717	0.801	0.034	0.113	0.348	11.775	0.102	0.000	0.000	2.987	0.000	0.969	0.000	0.029	0.000	0.001	0.007	0.016	1.003	0.006	0.016	0.979	0.006
	68.795	0.000	18.489	0.039	0.002	0.000	0.039	11.952	0.056	0.000	0.000	3.024	0.000	0.958	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	1.018	0.003	0.002	0.995	0.003

	68.781	0.041	18.628	0.510	0.016	0.000	0.087	12.163	0.051	0.027	0.000	3.004	0.001	0.959	0.000	0.019	0.000	0.001	0.000	0.004	1.030	0.003	0.004	0.993	0.003
	68.957	0.000	18.735	0.464	0.025	0.000	0.047	12.055	0.062	0.034	0.000	3.007	0.000	0.963	0.000	0.017	0.000	0.001	0.000	0.002	1.020	0.003	0.002	0.995	0.003
	69.357	0.049	18.603	0.029	0.018	0.000	0.113	11.924	0.050	0.000	0.038	3.025	0.002	0.956	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.005	1.008	0.003	0.005	0.992	0.003
	68.866	0.014	18.697	0.045	0.000	0.000	0.079	12.130	0.061	0.000	0.000	3.014	0.000	0.965	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.004	1.029	0.003	0.004	0.993	0.003
	68.839	0.000	18.357	0.156	0.005	0.007	0.067	12.081	0.054	0.000	0.000	3.023	0.000	0.950	0.000	0.006	0.000	0.000	0.001	0.003	1.029	0.003	0.003	0.994	0.003
	68.871	0.000	18.331	0.139	0.023	0.004	0.074	12.300	0.058	0.000	0.000	3.021	0.000	0.948	0.000	0.005	0.000	0.001	0.000	0.003	1.046	0.003	0.003	0.994	0.003
	69.412	0.000	18.360	0.046	0.029	0.000	0.060	11.813	0.061	0.000	0.000	3.036	0.000	0.947	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.003	1.001	0.003	0.003	0.994	0.003
	68.645	0.000	18.304	0.059	0.000	0.003	0.109	11.810	0.086	0.000	0.000	3.028	0.000	0.952	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.005	1.010	0.005	0.005	0.990	0.005
	69.454	0.000	19.006	0.017	0.000	0.006	0.082	12.267	0.077	0.093	0.019	3.010	0.000	0.971	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.004	1.031	0.004	0.004	0.992	0.004
	69.351	0.000	19.068	0.043	0.043	0.006	0.069	11.953	0.050	0.039	0.005	3.012	0.000	0.976	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.003	1.006	0.003	0.003	0.994	0.003
	69.132	0.034	18.922	0.015	0.007	0.000	0.068	12.011	0.058	0.025	0.009	3.013	0.001	0.972	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	1.015	0.003	0.003	0.994	0.003
	68.510	0.073	18.751	0.057	0.000	0.012	0.058	11.808	0.037	0.034	0.000	3.013	0.002	0.972	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.003	1.007	0.002	0.003	0.995	0.002
	68.585	0.005	18.784	0.044	0.000	0.007	0.036	11.737	0.049	0.000	0.002	3.016	0.000	0.974	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	1.001	0.003	0.002	0.995	0.003
	68.527	0.045	18.505	0.067	0.000	0.018	0.087	11.759	0.044	0.000	0.026	3.020	0.002	0.962	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.004	1.005	0.002	0.004	0.994	0.002
	68.333	0.000	18.316	0.091	0.000	0.012	0.150	11.788	0.056	0.000	0.033	3.023	0.000	0.956	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.007	1.011	0.003	0.007	0.990	0.003

Tabela 12.5 - Análise composicional e forma estrutural dos feldspatos das amostras *Análise composicional e forma estrutural dos feldspatos das amostras metassedimentares.*

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	SrO	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	Si	Ti	Al	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	X _{an}	X _{ab}	X _{or}
PMT-8D	66.740	0.000	19.909	0.028	0.000	0.001	2.151	10.338	0.077	0.166	0.000	2.948	0.000	1.037	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.102	0.886	0.005	0.103	0.892	0.005
	66.076	0.013	20.228	0.097	0.012	0.002	2.311	10.281	0.081	0.101	0.065	2.928	0.000	1.057	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.110	0.883	0.005	0.110	0.885	0.005
	65.519	0.020	20.340	0.027	0.000	0.015	2.557	9.838	0.069	0.269	0.009	2.921	0.001	1.069	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.122	0.851	0.004	0.125	0.871	0.004
	65.232	0.000	20.152	0.074	0.018	0.000	2.698	10.059	0.072	0.217	0.068	2.917	0.000	1.062	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.129	0.872	0.004	0.128	0.868	0.004
	66.825	0.024	19.912	0.040	0.000	0.000	2.190	10.079	0.082	0.266	0.005	2.952	0.001	1.037	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.104	0.863	0.005	0.107	0.888	0.005

	66.311	0.048	19.848	0.044	0.061	0.000	2.277	10.450	0.079	0.119	0.000	2.939	0.002	1.037	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.108	0.898	0.005	0.107	0.888	0.005
	64.684	0.000	21.046	0.041	0.009	0.011	3.590	9.219	0.072	0.213	0.035	2.883	0.000	1.106	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.171	0.797	0.004	0.176	0.820	0.004
	64.372	0.115	21.176	0.154	0.000	0.006	3.565	9.343	0.059	0.224	0.026	2.869	0.004	1.113	0.000	0.006	0.000	0.000	0.001	0.170	0.807	0.003	0.173	0.823	0.003
	64.443	0.085	21.221	0.168	0.042	0.004	3.289	9.677	0.092	0.137	0.000	2.868	0.003	1.113	0.000	0.006	0.000	0.002	0.000	0.157	0.835	0.005	0.157	0.838	0.005
	65.149	0.006	20.613	0.072	0.049	0.010	2.713	9.840	0.063	0.000	0.000	2.905	0.000	1.084	0.000	0.003	0.000	0.002	0.001	0.129	0.851	0.003	0.131	0.866	0.003
	65.789	0.000	20.499	0.118	0.000	0.000	2.823	9.981	0.078	0.211	0.030	2.912	0.000	1.070	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.134	0.857	0.005	0.135	0.860	0.005
	65.045	0.021	20.424	0.075	0.092	0.015	2.752	10.017	0.155	0.183	0.096	2.904	0.001	1.075	0.000	0.003	0.000	0.003	0.001	0.132	0.867	0.009	0.131	0.860	0.009
	65.401	0.020	20.363	0.139	0.000	0.001	2.310	10.233	0.232	0.073	0.007	2.914	0.001	1.069	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.110	0.884	0.013	0.109	0.878	0.013
	65.099	0.000	20.434	0.081	0.000	0.011	2.739	9.810	0.124	0.322	0.021	2.910	0.000	1.077	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.131	0.850	0.007	0.133	0.860	0.007
	65.910	0.000	20.153	0.063	0.034	0.020	2.470	10.325	0.149	0.000	0.000	2.924	0.000	1.054	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	0.117	0.889	0.008	0.115	0.877	0.008
	65.534	0.018	21.189	0.058	0.002	0.000	3.162	9.644	0.134	0.070	0.051	2.889	0.001	1.101	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.149	0.824	0.007	0.152	0.841	0.007
PMT-10	65.304	0.037	18.329	0.028	0.000	0.000	0.011	0.094	0.390	1.056	14.994	3.007	0.001	0.995	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.095	0.881	0.000	0.097	0.903
	65.650	0.000	18.135	0.011	0.036	0.000	0.049	0.000	0.438	1.133	14.894	3.017	0.000	0.983	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.101	0.873	0.002	0.103	0.894
	57.157	0.000	27.133	0.134	0.000	0.006	9.063	0.093	0.047	5.206	0.102	2.579	0.000	1.443	0.000	0.005	0.000	0.000	0.001	0.438	0.456	0.006	0.487	0.507	0.007
	64.277	0.000	18.212	0.134	0.027	0.010	0.042	0.151	0.595	0.935	14.787	3.001	0.000	1.002	0.000	0.005	0.000	0.001	0.001	0.002	0.085	0.881	0.002	0.088	0.910
PMT-15	65.293	0.012	22.269	0.408	0.041	0.073	1.064	7.210	4.666	0.000	0.153	2.874	0.000	1.156	0.000	0.015	0.000	0.001	0.005	0.050	0.615	0.262	0.054	0.663	0.283
	68.990	0.009	19.169	0.042	0.077	0.000	0.199	11.045	0.041	0.103	0.000	3.017	0.000	0.988	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.009	0.937	0.002	0.009	0.988	0.002
	69.520	0.050	19.163	0.220	0.000	0.000	0.179	11.097	0.057	0.000	0.002	3.018	0.002	0.981	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.008	0.934	0.003	0.008	0.988	0.003
	67.261	1.083	18.690	0.121	0.030	0.000	1.368	10.671	0.036	0.026	0.000	2.969	0.036	0.973	0.000	0.004	0.000	0.001	0.000	0.065	0.913	0.002	0.066	0.932	0.002
	69.521	0.012	19.286	0.122	0.000	0.004	0.280	10.985	0.037	0.024	0.000	3.018	0.000	0.987	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.013	0.925	0.002	0.014	0.984	0.002
	68.983	0.812	18.772	0.468	0.002	0.000	0.380	11.117	0.021	0.035	0.000	2.996	0.026	0.961	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.018	0.937	0.001	0.019	0.980	0.001
	69.013	0.000	19.096	0.209	0.000	0.002	0.145	11.184	0.049	0.000	0.000	3.015	0.000	0.984	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.007	0.947	0.003	0.007	0.990	0.003
	68.694	0.000	19.092	0.561	0.066	0.004	0.201	11.023	0.044	0.037	0.012	3.006	0.000	0.985	0.000	0.020	0.000	0.003	0.000	0.009	0.935	0.002	0.010	0.988	0.002

	62.337	0.000	23.619	0.663	0.063	0.039	1.024	8.060	2.702	0.000	0.108	2.802	0.000	1.251	0.000	0.025	0.000	0.002	0.003	0.049	0.702	0.155	0.054	0.775	0.171
	67.576	0.000	19.559	0.273	0.000	0.018	0.692	10.600	0.143	0.003	0.059	2.983	0.000	1.018	0.000	0.010	0.000	0.000	0.001	0.033	0.907	0.008	0.035	0.957	0.008
	69.298	0.044	19.189	0.220	0.010	0.000	0.118	11.197	0.065	0.000	0.000	3.014	0.001	0.984	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.006	0.945	0.004	0.006	0.990	0.004
	68.600	0.055	18.976	0.224	0.000	0.000	0.185	11.119	0.042	0.065	0.000	3.013	0.002	0.983	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.009	0.947	0.002	0.009	0.989	0.002
	69.085	0.021	19.017	0.245	0.022	0.000	0.174	11.076	0.043	0.023	0.000	3.018	0.001	0.980	0.000	0.009	0.000	0.001	0.000	0.008	0.939	0.002	0.008	0.989	0.002
	69.775	0.023	19.099	0.057	0.104	0.000	0.227	11.065	0.036	0.042	0.000	3.025	0.001	0.976	0.000	0.002	0.000	0.004	0.000	0.011	0.931	0.002	0.012	0.986	0.002
	69.907	0.000	18.899	0.098	0.000	0.002	0.054	11.038	0.047	0.057	0.045	3.037	0.000	0.968	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.002	0.930	0.003	0.002	0.995	0.003
	68.610	0.027	18.866	0.780	0.003	0.914	0.626	10.674	0.039	0.074	0.000	2.983	0.001	0.967	0.000	0.028	0.000	0.000	0.059	0.029	0.899	0.002	0.031	0.967	0.002
	68.521	0.000	19.112	0.348	0.008	0.039	0.234	10.788	0.036	0.000	0.000	3.011	0.000	0.990	0.000	0.013	0.000	0.000	0.003	0.011	0.919	0.002	0.012	0.986	0.002
	69.612	0.008	18.866	0.678	0.045	0.100	0.166	11.164	0.049	0.005	0.000	3.015	0.000	0.964	0.000	0.025	0.000	0.002	0.006	0.008	0.937	0.003	0.008	0.988	0.003
	69.654	0.000	18.879	0.731	0.061	0.074	0.163	11.097	0.046	0.016	0.000	3.016	0.000	0.964	0.000	0.026	0.000	0.002	0.005	0.007	0.932	0.003	0.007	0.989	0.003
	69.377	0.000	19.063	0.181	0.003	0.000	0.160	11.066	0.051	0.000	0.000	3.023	0.000	0.979	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.007	0.935	0.003	0.007	0.989	0.003
	69.630	0.044	19.164	0.251	0.000	0.002	0.067	10.984	0.039	0.074	0.002	3.023	0.001	0.981	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.003	0.924	0.002	0.003	0.995	0.002
	69.465	0.029	18.967	0.187	0.000	0.006	0.134	11.115	0.029	0.074	0.019	3.025	0.001	0.974	0.000	0.007	0.000	0.000	0.001	0.006	0.939	0.002	0.006	0.992	0.002
	69.476	0.015	18.975	0.239	0.024	0.024	0.150	10.977	0.042	0.007	0.000	3.025	0.001	0.974	0.000	0.009	0.000	0.001	0.001	0.007	0.927	0.002	0.007	0.990	0.002
	69.351	0.000	18.885	0.237	0.048	0.001	0.195	10.974	0.031	0.000	0.000	3.026	0.000	0.972	0.000	0.009	0.000	0.002	0.000	0.009	0.928	0.002	0.010	0.988	0.002
	69.671	0.016	19.171	0.278	0.047	0.000	0.133	11.387	0.057	0.085	0.000	3.015	0.001	0.978	0.000	0.010	0.000	0.002	0.000	0.006	0.956	0.003	0.006	0.991	0.003
	68.217	0.009	19.267	0.167	0.000	0.001	0.523	10.167	1.222	0.083	0.090	3.000	0.000	0.999	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.024	0.867	0.068	0.025	0.904	0.071
	69.505	0.000	19.114	0.157	0.000	0.000	0.224	11.087	0.041	0.071	0.000	3.022	0.000	0.979	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.010	0.935	0.002	0.011	0.987	0.002
	68.557	0.001	19.070	0.132	0.000	0.030	0.242	11.105	0.054	0.008	0.000	3.012	0.000	0.988	0.000	0.005	0.000	0.000	0.002	0.011	0.946	0.003	0.011	0.985	0.003
	68.525	0.031	18.658	0.885	0.015	0.000	0.241	10.957	0.067	0.012	0.031	3.010	0.001	0.966	0.000	0.033	0.000	0.001	0.000	0.011	0.933	0.004	0.012	0.984	0.004
	69.256	0.000	18.990	0.191	0.079	0.000	0.111	11.237	0.046	0.185	0.000	3.020	0.000	0.976	0.000	0.007	0.000	0.003	0.000	0.005	0.950	0.003	0.005	0.992	0.003
	60.258	0.016	26.131	0.428	0.000	0.095	1.247	6.406	4.138	0.000	0.057	2.714	0.001	1.387	0.000	0.016	0.000	0.000	0.007	0.060	0.560	0.238	0.070	0.653	0.277

	69.325	0.009	19.297	0.281	0.033	0.000	0.160	11.249	0.055	0.000	0.056	3.009	0.000	0.988	0.000	0.010	0.000	0.001	0.000	0.007	0.947	0.003	0.007	0.990	0.003
	69.649	0.045	19.647	0.730	0.017	0.010	0.216	11.042	0.051	0.000	0.000	2.995	0.002	0.996	0.000	0.026	0.000	0.001	0.001	0.010	0.921	0.003	0.011	0.986	0.003
	69.292	0.045	19.861	0.729	0.000	0.000	0.201	11.114	0.061	0.080	0.000	2.985	0.002	1.009	0.000	0.026	0.000	0.000	0.000	0.009	0.928	0.003	0.010	0.987	0.003
	69.062	0.000	19.146	0.288	0.000	0.000	0.226	10.844	0.070	0.119	0.002	3.017	0.000	0.986	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.011	0.918	0.004	0.012	0.984	0.004
	68.474	0.056	19.151	0.383	0.005	0.006	0.232	10.748	0.036	0.000	0.000	3.008	0.002	0.992	0.000	0.014	0.000	0.000	0.001	0.011	0.916	0.002	0.012	0.986	0.002

12.2.2 Piroxenas

Tabela 12.6 - Análise composicional e forma estrutural das piroxenas das amostras estudadas.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	ZnO	Na ₂ O	K ₂ O	F	Si	Ti	Al	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	X _{En}	X _{Fs}	X _{Wo}
PMT-4	53.917	0.000	0.398	0.061	8.378	0.315	12.390	24.970	0.025	0.190	0.004	0.029	2.006	0.000	0.018	0.002	0.000	0.261	0.010	0.687	0.995	0.014	0.000	0.354	0.134	0.512
	53.916	0.006	0.468	0.046	8.836	0.290	11.921	24.479	0.000	0.249	0.000	0.038	2.014	0.000	0.021	0.001	0.000	0.276	0.009	0.664	0.980	0.018	0.000	0.346	0.144	0.510
	53.684	0.028	0.617	0.151	8.712	0.251	12.074	24.912	0.013	0.216	0.005	0.000	2.000	0.001	0.027	0.004	0.000	0.271	0.008	0.670	0.994	0.016	0.000	0.346	0.140	0.514
	53.682	0.000	0.667	0.110	9.000	0.384	11.969	24.839	0.033	0.220	0.003	0.115	1.998	0.000	0.029	0.003	0.000	0.280	0.012	0.664	0.991	0.016	0.000	0.343	0.145	0.512
	54.184	0.009	0.388	0.074	7.571	0.424	13.038	25.013	0.158	0.197	0.000	0.000	2.003	0.000	0.017	0.002	0.000	0.234	0.013	0.719	0.991	0.014	0.000	0.370	0.120	0.510
	53.982	0.000	0.300	0.082	8.002	0.396	12.588	25.092	0.029	0.169	0.002	0.000	2.006	0.000	0.013	0.002	0.000	0.249	0.013	0.697	0.999	0.012	0.000	0.358	0.128	0.514
	52.774	0.053	1.242	0.108	9.338	0.271	11.604	24.782	0.081	0.326	0.000	0.000	1.975	0.001	0.055	0.003	0.013	0.279	0.009	0.647	0.994	0.024	0.000	0.337	0.145	0.518
	53.809	0.015	0.691	0.095	8.717	0.340	11.954	24.656	0.146	0.224	0.007	0.029	2.005	0.001	0.030	0.003	0.000	0.272	0.011	0.664	0.985	0.016	0.000	0.346	0.142	0.513
	53.795	0.022	1.006	0.062	8.258	0.279	12.398	24.741	0.008	0.234	0.000	0.000	1.995	0.001	0.044	0.002	0.000	0.256	0.009	0.685	0.983	0.017	0.000	0.356	0.133	0.511

	53.917	0.022	0.557	0.104	8.600	0.312	12.164	24.887	0.046	0.197	0.000	0.000	2.004	0.001	0.025	0.003	0.000	0.267	0.010	0.674	0.991	0.014	0.000	0.349	0.138	0.513
	53.778	0.027	0.875	0.133	8.512	0.305	12.251	24.806	0.069	0.249	0.000	0.000	1.995	0.001	0.038	0.004	0.000	0.264	0.010	0.677	0.986	0.018	0.000	0.351	0.137	0.512
	53.407	0.000	0.784	0.040	8.707	0.286	11.907	24.717	0.054	0.243	0.005	0.104	2.000	0.000	0.034	0.001	0.000	0.273	0.009	0.665	0.992	0.017	0.000	0.345	0.141	0.514
	54.243	0.011	0.439	0.078	8.529	0.362	12.215	24.983	0.115	0.209	0.001	0.000	2.009	0.000	0.019	0.002	0.000	0.264	0.011	0.675	0.991	0.015	0.000	0.350	0.137	0.513
	53.730	0.000	0.981	0.066	7.625	0.272	12.679	24.614	0.000	0.411	0.008	0.058	1.995	0.000	0.043	0.002	0.000	0.237	0.008	0.702	0.979	0.030	0.000	0.366	0.124	0.510
	54.306	0.001	0.441	0.039	7.797	0.441	12.682	25.207	0.029	0.185	0.004	0.000	2.006	0.000	0.019	0.001	0.000	0.241	0.014	0.698	0.998	0.014	0.000	0.360	0.124	0.515
	53.422	0.017	0.763	0.152	8.274	0.299	12.441	24.748	0.035	0.199	0.008	0.000	1.993	0.001	0.033	0.004	0.000	0.258	0.009	0.692	0.989	0.014	0.000	0.357	0.133	0.510
	53.504	0.017	0.756	0.104	8.250	0.292	12.425	24.759	0.106	0.239	0.000	0.077	1.995	0.001	0.033	0.003	0.000	0.257	0.009	0.691	0.989	0.017	0.000	0.357	0.133	0.511
	53.891	0.000	0.398	0.073	8.986	0.412	12.071	24.700	0.054	0.214	0.000	0.009	2.007	0.000	0.018	0.002	0.000	0.280	0.013	0.670	0.986	0.015	0.000	0.346	0.145	0.509
	53.529	0.018	0.680	0.098	8.702	0.240	12.192	24.677	0.148	0.281	0.005	0.028	1.998	0.001	0.030	0.003	0.000	0.272	0.008	0.678	0.987	0.020	0.000	0.350	0.140	0.510
	54.144	0.038	0.842	0.117	9.045	0.340	11.918	24.628	0.027	0.274	0.000	0.048	2.002	0.001	0.037	0.004	0.000	0.280	0.011	0.657	0.976	0.019	0.000	0.343	0.146	0.510
	53.928	0.000	0.702	0.123	8.825	0.299	12.179	24.668	0.140	0.258	0.000	0.000	2.001	0.000	0.031	0.004	0.000	0.274	0.009	0.673	0.981	0.019	0.000	0.349	0.142	0.509
	54.074	0.000	1.163	0.299	8.252	0.312	12.308	24.457	0.104	0.230	0.000	0.000	1.997	0.000	0.050	0.009	0.000	0.255	0.010	0.677	0.968	0.016	0.000	0.356	0.134	0.509
	54.225	0.000	0.334	0.064	7.661	0.418	12.684	24.966	0.217	0.209	0.000	0.000	2.012	0.000	0.014	0.002	0.000	0.238	0.013	0.701	0.993	0.015	0.000	0.363	0.123	0.514
	53.806	0.000	0.337	0.114	9.165	0.450	11.827	24.823	0.075	0.140	0.000	0.000	2.008	0.000	0.015	0.003	0.000	0.286	0.014	0.658	0.993	0.010	0.000	0.340	0.148	0.513
	55.740	0.000	5.629	0.093	7.478	0.776	13.103	16.587	0.098	1.347	0.000	0.000	2.002	0.000	0.238	0.003	0.000	0.225	0.024	0.701	0.638	0.094	0.000	0.448	0.144	0.408
	53.612	0.007	0.901	0.140	9.039	0.287	11.823	24.702	0.000	0.264	0.000	0.069	1.996	0.000	0.040	0.004	0.000	0.282	0.009	0.656	0.986	0.019	0.000	0.341	0.147	0.512
	53.965	0.000	0.480	0.136	8.579	0.345	12.237	24.552	0.048	0.182	0.004	0.000	2.009	0.000	0.021	0.004	0.000	0.267	0.011	0.679	0.979	0.013	0.000	0.353	0.139	0.509
	53.971	0.001	0.433	0.122	8.282	0.321	12.441	24.608	0.058	0.206	0.009	0.000	2.009	0.000	0.019	0.004	0.000	0.258	0.010	0.690	0.982	0.015	0.000	0.358	0.134	0.509
	53.807	0.000	0.395	0.042	8.870	0.446	12.067	24.589	0.079	0.214	0.003	0.000	2.009	0.000	0.018	0.001	0.000	0.277	0.014	0.672	0.984	0.015	0.000	0.348	0.143	0.509
	53.894	0.000	0.569	0.081	8.565	0.283	12.323	24.698	0.083	0.205	0.000	0.060	2.004	0.000	0.025	0.002	0.000	0.267	0.009	0.683	0.984	0.015	0.000	0.353	0.138	0.509
	54.307	0.015	0.238	0.101	7.938	0.664	12.502	24.777	0.012	0.167	0.000	0.000	2.015	0.001	0.010	0.003	0.000	0.246	0.021	0.691	0.985	0.012	0.000	0.360	0.128	0.512
	53.882	0.000	0.547	0.078	9.367	0.398	11.798	24.572	0.108	0.204	0.001	0.000	2.007	0.000	0.024	0.002	0.000	0.292	0.013	0.655	0.980	0.014	0.000	0.340	0.152	0.509
	54.364	0.000	0.326	0.051	7.396	0.345	12.905	24.673	0.096	0.154	0.000	0.000	2.017	0.000	0.014	0.001	0.000	0.230	0.011	0.714	0.981	0.011	0.000	0.371	0.119	0.510

	53.830	0.012	0.416	0.090	8.433	0.337	12.239	24.700	0.006	0.177	0.000	0.126	2.009	0.000	0.018	0.003	0.000	0.263	0.011	0.681	0.988	0.013	0.000	0.352	0.136	0.511
	53.820	0.038	0.443	0.088	8.598	0.380	12.172	24.731	0.063	0.206	0.008	0.020	2.006	0.001	0.019	0.003	0.000	0.268	0.012	0.676	0.988	0.015	0.000	0.350	0.139	0.511
PMT-6	53.670	0.037	0.597	0.060	8.080	0.491	12.552	24.381	0.067	0.357	0.002	0.095	2.002	0.001	0.026	0.002	0.000	0.252	0.015	0.698	0.974	0.026	0.000	0.363	0.131	0.506
	53.377	0.014	0.678	0.066	8.360	0.460	12.305	24.371	0.000	0.424	0.000	0.000	1.997	0.000	0.030	0.002	0.003	0.259	0.015	0.686	0.977	0.030	0.000	0.357	0.135	0.508
	53.346	0.010	0.726	0.109	8.521	0.510	12.125	23.771	0.052	0.395	0.007	0.000	2.005	0.000	0.032	0.003	0.000	0.268	0.016	0.679	0.957	0.029	0.000	0.357	0.141	0.503
	49.841	0.000	4.209	0.087	6.889	0.638	9.874	23.789	0.068	0.165	0.106	0.048	2.256	0.000	0.225	0.003	0.000	0.261	0.025	0.666	0.184	0.015	0.006	0.599	0.235	0.166
	53.505	0.000	0.528	0.081	7.978	0.516	12.736	24.243	0.000	0.271	0.000	0.000	2.002	0.000	0.023	0.002	0.000	0.250	0.016	0.710	0.972	0.020	0.000	0.367	0.129	0.503
	53.592	0.002	0.440	0.083	7.978	0.494	12.789	24.392	0.084	0.310	0.008	0.009	2.002	0.000	0.019	0.002	0.000	0.249	0.016	0.712	0.976	0.022	0.000	0.368	0.129	0.504
	54.034	0.028	0.471	0.094	8.540	0.440	12.682	24.446	0.010	0.346	0.000	0.000	2.001	0.001	0.021	0.003	0.000	0.265	0.014	0.700	0.970	0.025	0.000	0.362	0.137	0.501
	53.930	0.008	0.639	0.086	8.392	0.422	12.495	24.294	0.000	0.392	0.000	0.096	2.003	0.000	0.028	0.003	0.000	0.261	0.013	0.692	0.967	0.028	0.000	0.360	0.136	0.504
	53.947	0.032	0.671	0.076	9.050	0.476	12.195	24.133	0.010	0.463	0.008	0.049	2.002	0.001	0.029	0.002	0.000	0.281	0.015	0.675	0.959	0.033	0.000	0.352	0.147	0.501
	53.957	0.018	0.530	0.081	8.192	0.506	12.645	24.430	0.035	0.334	0.004	0.000	2.003	0.001	0.023	0.002	0.000	0.254	0.016	0.700	0.972	0.024	0.000	0.363	0.132	0.505
	53.444	0.021	0.443	0.057	8.780	0.468	12.289	24.383	0.036	0.357	0.000	0.030	2.000	0.001	0.019	0.002	0.005	0.270	0.015	0.685	0.977	0.026	0.000	0.355	0.140	0.506
	54.150	0.026	0.444	0.081	7.919	0.458	12.638	24.472	0.000	0.324	0.002	0.000	2.011	0.001	0.019	0.002	0.000	0.246	0.014	0.699	0.974	0.023	0.000	0.364	0.128	0.508
	53.648	0.021	0.713	0.103	8.705	0.464	12.206	24.112	0.000	0.463	0.000	0.079	2.001	0.001	0.031	0.003	0.000	0.272	0.015	0.679	0.964	0.033	0.000	0.355	0.142	0.503
	54.295	0.005	0.278	0.057	7.486	0.571	13.126	24.618	0.035	0.255	0.000	0.038	2.010	0.000	0.012	0.002	0.000	0.232	0.018	0.724	0.976	0.019	0.000	0.375	0.120	0.505
	53.587	0.034	0.450	0.030	9.055	0.497	12.061	24.293	0.029	0.379	0.000	0.000	2.004	0.001	0.020	0.001	0.000	0.283	0.016	0.672	0.973	0.028	0.000	0.349	0.147	0.505
PMT-11	52.474	0.070	0.843	0.136	9.866	0.393	11.652	23.232	0.000	0.274	0.002	0.000	1.995	0.002	0.038	0.004	0.000	0.314	0.013	0.660	0.946	0.020	0.000	0.344	0.164	0.493
	53.414	0.020	0.486	0.104	8.875	0.445	12.140	24.041	0.025	0.229	0.002	0.000	2.006	0.001	0.022	0.003	0.000	0.279	0.014	0.680	0.968	0.017	0.000	0.353	0.145	0.502
	52.308	0.038	0.664	0.104	9.959	0.375	11.237	23.880	0.010	0.159	0.001	0.000	1.998	0.001	0.030	0.003	0.000	0.318	0.012	0.640	0.977	0.012	0.000	0.331	0.164	0.505
	51.750	0.073	1.082	0.116	11.391	0.434	10.677	23.044	0.044	0.286	0.000	0.000	1.985	0.002	0.049	0.004	0.000	0.365	0.014	0.610	0.947	0.022	0.000	0.317	0.190	0.493
	51.254	0.103	3.068	0.103	10.376	0.423	9.818	23.116	0.079	0.259	0.021	0.029	1.960	0.003	0.138	0.003	0.000	0.332	0.014	0.560	0.947	0.019	0.001	0.305	0.181	0.515
	52.322	0.090	0.918	0.089	10.381	0.411	11.376	23.161	0.000	0.303	0.000	0.000	1.992	0.003	0.041	0.003	0.000	0.330	0.013	0.646	0.945	0.022	0.000	0.336	0.172	0.492
	52.755	0.099	0.917	0.120	9.477	0.410	11.750	23.435	0.000	0.278	0.015	0.069	1.996	0.003	0.041	0.004	0.000	0.300	0.013	0.662	0.950	0.021	0.001	0.346	0.157	0.497

	52.466	0.115	1.198	0.089	9.686	0.413	11.509	23.310	0.054	0.299	0.000	0.000	1.990	0.003	0.054	0.003	0.000	0.307	0.013	0.650	0.947	0.022	0.000	0.341	0.161	0.497
--	--------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

12.2.3 Anfíbolos

Tabela 12.7 - Análise composicional e forma estrutural das anfíbolos das amostras estudadas.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	F	Cl	Si	Ti	Al	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Mg/(Mg+Fe)	Fe/Mg
PMT-7	46.831	0.331	7.497	0.075	15.819	0.397	10.783	11.820	0.899	0.799	0.173	0.059	7.117	0.038	1.344	0.010	0.043	1.968	0.051	2.442	1.925	0.265	0.155	0.554	0.806
	52.915	0.052	2.483	0.066	13.464	0.480	13.721	12.102	0.251	0.068	0.000	0.002	7.815	0.006	0.432	0.008	0.000	1.662	0.060	3.020	1.915	0.072	0.013	0.645	0.550
PMT-11	45.050	1.304	8.771	0.119	16.756	0.359	10.283	11.971	1.571	0.265	0.090	0.021	6.812	0.148	1.563	0.014	0.071	2.049	0.046	2.317	1.939	0.460	0.052	0.531	0.884
	45.428	1.330	8.876	0.105	16.991	0.361	10.291	11.925	1.646	0.275	0.036	0.019	6.813	0.150	1.570	0.013	0.079	2.052	0.046	2.300	1.917	0.480	0.054	0.528	0.892
	44.634	0.978	9.724	0.097	17.255	0.404	10.679	10.532	1.547	0.243	0.113	0.021	6.696	0.111	1.719	0.012	0.491	1.675	0.051	2.388	1.693	0.451	0.046	0.588	0.701
	44.914	1.071	8.918	0.145	17.392	0.289	10.851	11.522	1.453	0.256	0.043	0.013	6.723	0.120	1.574	0.018	0.411	1.766	0.037	2.421	1.848	0.421	0.050	0.578	0.729
	44.856	1.056	9.090	0.135	17.356	0.335	9.952	11.944	1.622	0.294	0.061	0.026	6.786	0.121	1.621	0.017	0.094	2.102	0.044	2.243	1.935	0.475	0.056	0.516	0.937
	43.991	0.962	9.422	0.148	17.552	0.303	10.015	12.036	1.307	0.319	0.160	0.028	6.542	0.107	1.652	0.018	1.964	0.037	1.262	2.669	0.209	0.092	0.055	0.986	0.014
PMT-12B	51.559	0.303	4.249	0.093	15.816	0.457	12.533	11.085	0.692	0.108	0.000	0.221	7.575	0.033	0.736	0.010	0.128	1.815	0.057	2.744	1.746	0.197	0.021	0.602	0.661
	51.645	0.339	4.241	0.112	15.763	0.429	12.601	11.064	0.738	0.092	0.016	0.230	7.574	0.037	0.733	0.013	0.136	1.797	0.053	2.754	1.738	0.210	0.017	0.605	0.653
	49.724	0.331	5.734	0.086	16.357	0.371	11.635	11.593	0.704	0.152	0.000	0.229	7.363	0.037	1.000	0.011	0.181	1.846	0.046	2.569	1.839	0.201	0.028	0.582	0.719
	49.889	0.360	5.507	0.065	16.294	0.382	11.736	11.483	0.602	0.140	0.034	0.238	7.394	0.040	0.963	0.008	0.185	1.834	0.048	2.593	1.823	0.172	0.026	0.586	0.707
	48.644	0.302	7.006	0.048	17.583	0.421	10.968	10.963	0.972	0.214	0.000	0.299	7.192	0.033	1.222	0.006	0.337	1.837	0.053	2.417	1.736	0.278	0.040	0.568	0.760
	48.599	0.429	6.791	0.090	16.428	0.307	11.283	11.379	0.927	0.172	0.016	0.358	7.227	0.048	1.190	0.011	0.205	1.838	0.039	2.500	1.813	0.268	0.032	0.576	0.735
	50.279	0.739	5.467	0.078	15.019	0.318	11.825	11.489	0.875	0.193	0.171	0.318	7.448	0.082	0.955	0.009	0.025	1.836	0.040	2.612	1.824	0.253	0.036	0.587	0.703
	50.761	0.568	5.484	0.127	15.256	0.358	11.928	11.504	0.872	0.173	0.000	0.289	7.458	0.063	0.949	0.015	0.060	1.815	0.045	2.612	1.810	0.248	0.032	0.590	0.695
	50.924	0.425	4.353	0.047	16.813	0.388	11.429	11.542	0.592	0.099	0.016	0.240	7.555	0.048	0.761	0.006	0.108	1.978	0.049	2.527	1.835	0.170	0.019	0.561	0.783

	49.478	0.258	5.744	0.098	16.862	0.443	11.715	10.798	0.735	0.189	0.000	0.270	7.353	0.029	1.006	0.012	0.239	1.857	0.055	2.596	1.720	0.213	0.036	0.583	0.715
	49.480	0.401	5.755	0.107	16.497	0.368	11.817	11.369	0.790	0.146	0.159	0.249	7.318	0.044	1.004	0.013	0.254	1.787	0.046	2.605	1.802	0.227	0.028	0.593	0.686
	50.741	0.421	4.834	0.057	15.995	0.365	11.750	11.094	0.498	0.131	0.000	0.229	7.553	0.047	0.848	0.007	0.039	1.952	0.047	2.607	1.769	0.144	0.025	0.572	0.749
	50.474	0.470	4.683	0.056	16.183	0.363	11.626	11.814	0.615	0.108	0.000	0.225	7.504	0.053	0.820	0.007	0.062	1.949	0.045	2.577	1.881	0.179	0.021	0.569	0.756
	49.971	0.354	5.175	0.110	15.542	0.331	12.283	11.723	0.721	0.147	0.044	0.281	7.406	0.039	0.905	0.013	0.150	1.776	0.041	2.712	1.861	0.207	0.028	0.604	0.655
	50.089	0.355	5.215	0.100	15.535	0.369	12.373	11.778	0.690	0.141	0.000	0.268	7.397	0.040	0.909	0.012	0.161	1.758	0.046	2.723	1.864	0.198	0.026	0.608	0.646
	49.843	0.355	5.620	0.095	15.995	0.336	12.426	11.604	0.625	0.164	0.026	0.254	7.324	0.040	0.974	0.012	0.263	1.704	0.042	2.722	1.827	0.180	0.030	0.615	0.626
	52.442	0.254	3.556	0.037	15.057	0.402	12.946	11.053	0.568	0.106	0.000	0.175	7.713	0.028	0.617	0.005	0.023	1.829	0.050	2.839	1.741	0.163	0.021	0.608	0.644
	52.620	0.300	3.688	0.103	15.145	0.380	12.896	11.301	0.587	0.099	0.144	0.176	7.688	0.033	0.636	0.012	0.036	1.815	0.047	2.809	1.769	0.167	0.019	0.607	0.646
	50.674	0.315	4.506	0.107	15.657	0.271	12.331	11.545	0.565	0.092	0.007	0.190	7.513	0.036	0.788	0.013	0.150	1.792	0.034	2.725	1.835	0.164	0.017	0.603	0.658
	50.919	0.308	4.529	0.094	15.757	0.343	12.300	11.559	0.566	0.103	0.070	0.209	7.522	0.034	0.789	0.011	0.140	1.807	0.043	2.708	1.830	0.163	0.019	0.600	0.667
	50.820	0.326	4.491	0.100	14.930	0.352	12.358	11.357	0.534	0.083	0.072	0.187	7.571	0.037	0.789	0.012	0.073	1.787	0.044	2.744	1.813	0.153	0.015	0.606	0.651
	51.171	0.367	4.252	0.070	15.393	0.332	12.371	11.675	0.724	0.127	0.048	0.202	7.563	0.041	0.741	0.008	0.073	1.830	0.041	2.725	1.850	0.206	0.025	0.598	0.672
	52.529	0.321	3.299	0.053	16.423	0.458	12.743	11.285	0.450	0.068	0.000	0.195	7.678	0.035	0.569	0.006	0.069	1.938	0.057	2.775	1.768	0.128	0.013	0.589	0.698
	52.497	0.252	3.523	0.067	15.839	0.386	13.081	11.511	0.492	0.071	0.000	0.139	7.644	0.027	0.604	0.008	0.102	1.826	0.048	2.838	1.796	0.138	0.013	0.608	0.643
	50.400	0.310	4.289	0.023	15.658	0.340	12.408	11.438	0.551	0.092	0.000	0.161	7.519	0.035	0.755	0.002	0.167	1.787	0.043	2.759	1.829	0.159	0.017	0.607	0.648
	50.586	0.430	5.314	0.073	15.816	0.330	12.365	10.775	0.814	0.112	0.089	0.228	7.447	0.048	0.921	0.008	0.176	1.771	0.041	2.714	1.700	0.231	0.021	0.605	0.653
	50.456	0.401	5.278	0.087	15.903	0.357	12.419	10.765	0.766	0.108	0.170	0.213	7.436	0.044	0.917	0.010	0.187	1.772	0.045	2.728	1.701	0.220	0.021	0.606	0.650
	50.348	0.427	4.808	0.068	16.191	0.357	11.928	11.156	0.664	0.135	0.133	0.244	7.483	0.048	0.843	0.008	0.151	1.861	0.045	2.642	1.777	0.190	0.027	0.587	0.704
	50.618	0.396	4.992	0.113	15.660	0.346	12.125	11.780	0.580	0.114	0.151	0.245	7.467	0.044	0.868	0.013	0.119	1.813	0.044	2.667	1.862	0.166	0.021	0.595	0.680
	51.549	0.319	3.865	0.100	15.301	0.365	12.127	11.738	0.527	0.102	0.117	0.180	7.652	0.036	0.677	0.012	0.019	1.880	0.047	2.683	1.867	0.153	0.019	0.588	0.701
	51.855	0.249	3.169	0.037	15.261	0.419	12.767	11.328	0.550	0.090	0.026	0.220	7.701	0.028	0.555	0.005	0.074	1.821	0.053	2.826	1.803	0.158	0.017	0.608	0.644
	51.951	0.269	3.187	0.097	15.582	0.382	12.772	11.381	0.619	0.105	0.000	0.203	7.675	0.030	0.556	0.012	0.109	1.816	0.048	2.812	1.801	0.178	0.021	0.608	0.646
	50.495	0.223	4.898	0.093	16.721	0.450	12.153	10.541	0.583	0.191	0.141	0.261	7.493	0.025	0.857	0.011	0.138	1.937	0.057	2.687	1.676	0.167	0.036	0.581	0.721

	51.339	0.345	4.296	0.113	15.279	0.343	12.508	11.716	0.628	0.101	0.125	0.176	7.559	0.039	0.746	0.013	0.094	1.788	0.042	2.745	1.849	0.180	0.019	0.606	0.651
	51.414	0.310	4.445	0.074	15.642	0.364	12.321	11.819	0.642	0.135	0.070	0.203	7.549	0.034	0.770	0.008	0.081	1.839	0.045	2.696	1.860	0.182	0.026	0.594	0.682
	50.713	0.424	4.979	0.079	15.525	0.402	12.215	11.554	0.686	0.094	0.025	0.186	7.472	0.047	0.865	0.009	0.144	1.770	0.050	2.684	1.824	0.197	0.017	0.603	0.659
	51.338	0.379	4.272	0.076	15.548	0.446	12.557	11.017	0.683	0.079	0.000	0.202	7.573	0.042	0.743	0.009	0.119	1.799	0.056	2.761	1.742	0.194	0.015	0.605	0.652
	51.009	0.380	4.389	0.087	15.762	0.428	12.541	11.101	0.708	0.084	0.000	0.199	7.526	0.042	0.764	0.010	0.168	1.777	0.054	2.757	1.755	0.203	0.015	0.608	0.645
	51.440	0.302	4.416	0.061	15.868	0.378	11.770	11.376	0.648	0.105	0.043	0.210	7.611	0.033	0.771	0.007	0.060	1.904	0.048	2.595	1.804	0.186	0.021	0.577	0.734
	50.932	0.298	5.071	0.089	15.298	0.354	12.561	10.946	0.701	0.091	0.099	0.196	7.504	0.033	0.881	0.010	0.132	1.753	0.044	2.758	1.729	0.200	0.017	0.611	0.636
	52.201	0.274	2.820	0.077	15.338	0.447	12.753	11.420	0.383	0.075	0.000	0.171	7.756	0.030	0.494	0.009	0.011	1.895	0.057	2.823	1.818	0.109	0.015	0.598	0.671
	52.476	0.217	2.849	0.130	15.480	0.400	12.685	11.740	0.388	0.075	0.000	0.191	7.749	0.024	0.496	0.015	0.023	1.888	0.050	2.792	1.857	0.112	0.015	0.597	0.676
	50.038	0.091	9.655	0.075	16.216	0.326	12.283	7.531	0.629	0.240	0.000	0.051	7.267	0.010	1.654	0.009	0.000	1.970	0.041	2.658	1.172	0.177	0.044	0.574	0.741
PMT- 14	52.623	0.062	5.612	0.069	15.306	0.358	12.921	10.528	0.548	0.217	0.000	0.029	7.580	0.007	0.953	0.008	0.000	1.845	0.044	2.774	1.625	0.154	0.040	0.601	0.665
	50.041	0.105	6.961	0.034	16.780	0.287	11.766	10.143	0.990	0.362	0.077	0.000	7.323	0.012	1.201	0.003	0.204	1.849	0.036	2.567	1.590	0.281	0.067	0.581	0.720
	48.361	0.167	7.389	0.136	15.732	0.307	11.231	9.872	0.850	0.236	0.000	0.066	7.299	0.019	1.315	0.017	0.141	1.844	0.040	2.526	1.596	0.249	0.046	0.578	0.730
	50.926	0.115	5.453	0.111	17.270	0.210	12.180	9.898	0.775	0.319	0.061	0.000	7.480	0.013	0.944	0.013	0.132	1.989	0.026	2.666	1.558	0.222	0.060	0.573	0.746
	50.761	0.188	8.826	0.048	14.661	0.239	12.841	8.633	0.593	0.271	0.000	0.043	7.339	0.021	1.505	0.006	0.000	1.773	0.029	2.767	1.337	0.165	0.050	0.609	0.641
	54.570	0.033	2.701	0.052	13.652	0.285	14.788	12.135	0.308	0.094	0.046	0.006	7.789	0.003	0.454	0.006	0.015	1.614	0.035	3.146	1.857	0.086	0.016	0.661	0.513
	48.350	0.278	9.023	0.055	14.369	0.264	12.545	10.575	0.907	0.291	0.000	0.101	7.064	0.031	1.554	0.007	0.273	1.483	0.032	2.733	1.656	0.258	0.054	0.648	0.543
	52.194	0.091	3.710	0.097	13.324	0.310	14.546	11.888	0.477	0.137	0.000	0.054	7.592	0.010	0.636	0.011	0.156	1.465	0.038	3.154	1.853	0.135	0.026	0.683	0.464
	53.424	0.037	3.853	0.042	15.580	0.247	13.422	10.407	0.481	0.158	0.000	0.000	7.741	0.004	0.658	0.005	0.000	1.888	0.031	2.898	1.616	0.135	0.030	0.606	0.651
	53.335	0.064	3.929	0.119	13.105	0.372	13.868	11.249	0.495	0.149	0.000	0.000	7.743	0.007	0.673	0.014	0.000	1.592	0.045	3.001	1.750	0.141	0.028	0.653	0.530
	51.513	0.093	4.971	0.120	15.353	0.347	12.647	11.224	0.596	0.206	0.000	0.005	7.539	0.010	0.858	0.014	0.098	1.781	0.043	2.759	1.760	0.170	0.039	0.608	0.646
	40.542	0.021	11.210	0.050	25.207	0.348	6.675	10.281	1.502	0.336	0.008	1.308	6.257	0.002	2.040	0.006	1.239	2.015	0.046	1.536	1.700	0.449	0.067	0.433	1.312
	44.345	0.076	6.855	0.069	22.141	0.324	7.660	12.290	1.715	0.301	0.009	0.885	6.851	0.009	1.249	0.009	0.810	2.051	0.042	1.764	2.034	0.515	0.059	0.462	1.163
	44.507	2.675	4.467	0.095	15.390	0.305	10.304	18.630	0.951	0.247	0.065	0.108	6.600	0.299	0.781	0.012	1.336	0.573	0.039	2.276	2.960	0.273	0.047	0.799	0.252

	52.669	0.061	3.183	0.077	13.104	0.296	13.873	11.841	0.389	0.138	0.055	0.015	7.756	0.007	0.552	0.009	0.000	1.613	0.037	3.044	1.868	0.111	0.026	0.654	0.530
	46.082	0.068	8.097	0.061	19.285	0.230	10.299	11.729	0.685	0.243	0.000	0.307	6.884	0.008	1.427	0.007	0.669	1.741	0.029	2.293	1.878	0.200	0.046	0.568	0.759
	54.027	0.038	2.816	0.096	13.162	0.321	15.628	11.444	0.368	0.079	0.017	0.065	7.731	0.004	0.476	0.011	0.079	1.496	0.039	3.333	1.754	0.103	0.015	0.690	0.449
	51.428	0.099	4.133	0.093	15.524	0.336	13.454	11.263	0.533	0.207	0.000	0.003	7.531	0.011	0.713	0.010	0.184	1.717	0.042	2.935	1.767	0.150	0.039	0.631	0.585
	48.462	0.091	6.643	0.097	17.294	0.240	12.459	10.284	0.774	0.250	0.032	0.000	7.167	0.010	1.158	0.012	0.428	1.711	0.030	2.746	1.629	0.221	0.047	0.616	0.623
PMT-15	51.394	0.086	5.036	0.104	17.809	0.446	11.929	11.225	0.339	0.227	0.000	0.004	7.486	0.010	0.866	0.012	0.112	2.058	0.056	2.590	1.753	0.096	0.043	0.557	0.795
	51.579	0.070	5.063	0.086	17.742	0.458	11.904	11.135	0.360	0.235	0.026	0.025	7.507	0.008	0.868	0.010	0.090	2.069	0.057	2.581	1.737	0.102	0.045	0.555	0.802
	47.282	0.169	8.747	0.095	18.336	0.456	11.394	11.745	0.675	0.219	0.000	0.095	6.836	0.018	1.491	0.011	0.747	1.470	0.056	2.454	1.820	0.191	0.041	0.625	0.599
	50.382	0.090	6.440	0.094	16.392	0.277	11.875	10.246	0.494	0.164	0.000	0.071	7.439	0.010	1.121	0.011	0.049	1.975	0.035	2.614	1.622	0.140	0.030	0.570	0.756
	54.185	0.055	2.596	0.120	15.651	0.411	13.885	10.953	0.191	0.093	0.000	0.010	7.823	0.007	0.443	0.014	0.000	1.889	0.050	2.988	1.694	0.053	0.017	0.613	0.632
	54.080	0.001	2.638	0.077	15.739	0.371	14.003	11.052	0.220	0.082	0.000	0.007	7.805	0.000	0.449	0.009	0.000	1.900	0.045	3.011	1.709	0.062	0.015	0.613	0.631
	52.413	0.056	4.040	0.045	16.560	0.468	12.845	11.031	0.366	0.125	0.006	0.031	7.629	0.007	0.693	0.006	0.066	1.950	0.058	2.788	1.720	0.104	0.024	0.588	0.699
	46.617	2.316	8.499	0.231	16.865	0.333	10.110	11.929	0.640	0.222	0.000	0.273	6.901	0.258	1.483	0.027	0.103	1.985	0.041	2.230	1.892	0.184	0.042	0.529	0.890
	52.571	0.050	4.531	0.082	16.582	0.186	12.232	10.360	0.872	0.164	0.000	0.000	7.661	0.005	0.778	0.009	0.057	1.964	0.023	2.656	1.618	0.246	0.030	0.575	0.739
	52.132	0.044	4.656	0.140	15.788	0.304	12.351	10.569	0.745	0.143	0.000	0.006	7.643	0.004	0.805	0.016	0.043	1.893	0.037	2.698	1.660	0.213	0.026	0.588	0.702
	50.377	0.046	6.864	0.109	18.227	0.324	11.535	9.141	0.641	0.191	0.000	0.005	7.398	0.006	1.188	0.013	0.085	2.154	0.040	2.525	1.438	0.182	0.036	0.540	0.853
	52.592	0.025	3.673	0.043	15.706	0.197	12.913	11.284	0.525	0.121	0.000	0.105	7.695	0.003	0.633	0.005	0.056	1.867	0.025	2.815	1.769	0.150	0.022	0.601	0.663
	52.665	0.004	3.962	0.050	15.672	0.232	12.920	11.306	0.493	0.139	0.000	0.107	7.677	0.000	0.681	0.006	0.043	1.867	0.028	2.807	1.766	0.138	0.026	0.601	0.665
	53.306	0.017	3.769	0.086	15.689	0.317	12.987	11.275	0.404	0.115	0.097	0.002	7.725	0.002	0.644	0.010	0.000	1.901	0.039	2.805	1.751	0.112	0.022	0.596	0.678
	53.004	0.069	3.509	0.097	15.351	0.372	13.965	11.424	0.285	0.112	0.000	0.032	7.654	0.008	0.598	0.011	0.078	1.777	0.045	3.007	1.767	0.081	0.020	0.629	0.591
	50.639	4.177	3.155	0.074	13.753	0.330	12.003	13.259	0.190	0.072	0.000	0.036	7.218	0.448	0.531	0.008	1.147	0.492	0.040	2.549	2.025	0.053	0.013	0.838	0.193
	52.611	0.014	3.622	0.050	16.235	0.245	13.113	11.246	0.396	0.143	0.071	0.009	7.668	0.001	0.622	0.006	0.074	1.906	0.031	2.848	1.757	0.113	0.026	0.599	0.669
	52.976	0.000	2.937	0.062	15.915	0.266	12.074	10.758	0.468	0.090	0.000	0.000	7.872	0.000	0.515	0.007	0.000	1.978	0.034	2.673	1.713	0.135	0.017	0.575	0.740
	53.685	0.008	2.712	0.070	16.051	0.334	13.126	11.331	0.352	0.103	0.000	0.009	7.811	0.001	0.465	0.008	0.000	1.953	0.041	2.847	1.766	0.099	0.019	0.593	0.686

	53.953	0.097	2.496	0.048	15.473	0.255	13.754	11.338	0.313	0.079	0.000	0.013	7.820	0.011	0.427	0.006	0.000	1.875	0.032	2.970	1.761	0.087	0.015	0.613	0.631
	54.338	0.060	3.031	0.077	14.852	0.351	13.275	11.209	0.517	0.100	0.000	0.000	7.845	0.007	0.516	0.009	0.000	1.793	0.043	2.857	1.734	0.146	0.018	0.614	0.628
	49.014	0.163	6.839	0.144	16.263	0.402	11.311	11.356	0.616	0.219	0.000	0.192	7.277	0.018	1.197	0.016	0.201	1.818	0.050	2.503	1.807	0.178	0.042	0.579	0.726
	50.675	0.060	5.809	0.076	18.074	0.416	11.180	11.021	0.494	0.184	0.035	0.031	7.435	0.007	1.005	0.009	0.126	2.091	0.052	2.444	1.732	0.139	0.034	0.539	0.856
	52.886	0.077	4.197	0.042	14.350	0.398	11.888	11.905	0.382	0.901	0.083	0.017	7.741	0.009	0.725	0.005	0.000	1.757	0.050	2.594	1.868	0.108	0.168	0.596	0.677
	54.003	0.020	3.097	0.078	15.623	0.314	13.436	11.134	0.369	0.099	0.027	0.000	7.796	0.002	0.528	0.009	0.000	1.886	0.038	2.892	1.722	0.104	0.018	0.605	0.652
	54.282	0.016	3.102	0.103	15.717	0.323	13.289	11.209	0.347	0.101	0.054	0.011	7.811	0.002	0.526	0.011	0.000	1.892	0.039	2.850	1.729	0.098	0.018	0.601	0.664
	44.971	0.016	12.023	0.129	18.263	0.358	8.656	11.822	0.851	0.394	0.000	0.481	6.691	0.002	2.108	0.015	0.295	1.977	0.045	1.920	1.884	0.245	0.074	0.493	1.030
	53.576	0.036	3.635	0.100	16.396	0.230	12.771	10.656	0.681	0.132	0.000	0.005	7.755	0.004	0.621	0.011	0.010	1.975	0.028	2.754	1.653	0.191	0.024	0.582	0.717
	53.727	0.054	3.580	0.065	16.388	0.236	12.782	10.784	0.734	0.134	0.000	0.000	7.756	0.005	0.609	0.008	0.024	1.954	0.029	2.749	1.667	0.204	0.024	0.585	0.711
	52.722	0.025	4.027	0.095	16.244	0.259	12.536	11.163	0.496	0.119	0.061	0.000	7.683	0.003	0.692	0.012	0.026	1.953	0.032	2.723	1.743	0.141	0.022	0.582	0.717
	52.474	0.073	4.494	0.156	16.529	0.273	12.305	10.836	0.644	0.150	0.000	0.000	7.635	0.008	0.770	0.018	0.048	1.963	0.033	2.669	1.690	0.181	0.028	0.576	0.735
PMT-16	55.524	0.195	3.531	0.052	9.583	0.325	16.067	11.973	0.374	0.067	0.000	0.013	7.829	0.021	0.587	0.006	0.000	1.130	0.039	3.377	1.809	0.101	0.013	0.749	0.335
	53.215	0.286	4.547	0.066	7.839	0.222	17.415	12.541	0.438	0.063	0.000	0.028	7.565	0.031	0.763	0.008	0.054	0.878	0.026	3.690	1.910	0.121	0.011	0.808	0.238
	53.914	0.049	4.025	0.049	8.180	0.711	17.556	12.345	0.357	0.061	0.094	0.028	7.624	0.005	0.672	0.006	0.092	0.875	0.085	3.701	1.871	0.099	0.011	0.809	0.236
	54.041	0.066	4.331	0.073	7.858	0.237	17.641	12.510	0.389	0.057	0.084	0.039	7.623	0.007	0.720	0.008	0.064	0.863	0.029	3.709	1.891	0.107	0.011	0.811	0.233
	54.857	0.020	2.957	0.034	8.953	0.259	17.602	12.614	0.259	0.042	0.017	0.020	7.746	0.002	0.493	0.003	0.044	1.013	0.031	3.703	1.908	0.071	0.007	0.785	0.274
	54.466	0.002	2.553	0.101	8.772	0.247	17.598	12.781	0.264	0.035	0.131	0.036	7.760	0.000	0.428	0.011	0.039	1.006	0.030	3.737	1.951	0.072	0.007	0.788	0.269
	53.520	0.257	4.327	0.104	7.754	0.264	18.138	12.559	0.472	0.063	0.000	0.038	7.534	0.028	0.719	0.011	0.140	0.772	0.031	3.806	1.894	0.128	0.011	0.831	0.203
	52.447	0.213	4.836	0.115	8.083	0.210	17.287	12.559	0.419	0.058	0.152	0.039	7.499	0.023	0.816	0.014	0.096	0.870	0.025	3.684	1.924	0.116	0.011	0.809	0.236
	54.158	0.186	4.048	0.208	8.288	0.239	17.534	12.114	0.407	0.099	0.028	0.016	7.650	0.020	0.674	0.023	0.034	0.945	0.029	3.690	1.833	0.112	0.018	0.796	0.256
	52.406	0.217	4.879	0.071	7.635	0.225	16.794	12.703	0.439	0.090	0.132	0.040	7.555	0.024	0.829	0.008	0.000	0.921	0.028	3.607	1.962	0.123	0.017	0.797	0.255
	54.035	0.112	4.110	0.055	7.136	0.209	17.935	12.810	0.364	0.057	0.035	0.032	7.645	0.012	0.685	0.007	0.002	0.843	0.025	3.782	1.942	0.099	0.011	0.818	0.223
	52.174	0.298	5.093	0.073	7.743	0.285	17.645	12.685	0.511	0.060	0.009	0.025	7.431	0.032	0.855	0.008	0.127	0.795	0.035	3.747	1.937	0.141	0.011	0.825	0.212

	52.479	0.060	5.129	0.074	9.502	0.264	16.454	12.753	0.549	0.077	0.000	0.020	7.481	0.006	0.862	0.008	0.059	1.073	0.031	3.495	1.948	0.152	0.015	0.765	0.307
--	--------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

12.2.4 Epídoto

Tabela 12.8 - Análise composicional e forma estrutural dos epídotos das amostras estudadas.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	ZnO	Na ₂ O	K ₂ O	F	Cl	Si	Ti	Al	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K
PMT-6	38.237	0.046	20.978	0.297	12.904	0.083	0.024	23.340	0.000	0.008	0.000	0.087	0.000	3.079	0.003	1.991	0.019	0.860	0.009	0.005	0.002	2.014	0.002	0.000
	38.489	0.084	21.359	0.185	12.328	0.061	0.020	23.753	0.015	0.006	0.000	0.011	0.011	3.083	0.005	2.017	0.012	0.818	0.008	0.004	0.002	2.038	0.002	0.000
	38.627	0.079	21.632	0.190	12.015	0.025	0.009	23.380	0.091	0.116	0.006	0.155	0.005	3.093	0.005	2.042	0.012	0.797	0.008	0.002	0.001	2.006	0.019	0.001
	38.573	0.044	21.291	0.082	12.855	0.135	0.011	23.749	0.000	0.009	0.010	0.000	0.007	3.078	0.002	2.003	0.005	0.850	0.009	0.009	0.001	2.031	0.002	0.001
	38.524	0.035	21.849	0.233	12.064	0.058	0.020	23.850	0.021	0.011	0.000	0.009	0.013	3.072	0.002	2.054	0.015	0.796	0.008	0.004	0.002	2.038	0.002	0.000
	38.813	0.068	21.426	0.308	12.785	0.072	0.027	23.577	0.031	0.009	0.005	0.000	0.001	3.083	0.004	2.007	0.019	0.841	0.008	0.005	0.004	2.007	0.002	0.001
	38.573	0.305	21.602	0.068	12.343	0.126	0.045	23.562	0.000	0.089	0.006	0.000	0.000	3.074	0.019	2.030	0.004	0.814	0.008	0.009	0.006	2.012	0.014	0.001
	38.496	0.026	21.507	0.138	13.112	0.100	0.000	23.076	0.000	0.006	0.006	0.018	0.008	3.076	0.002	2.026	0.009	0.867	0.009	0.007	0.000	1.976	0.002	0.001
	38.621	0.041	21.317	0.157	12.803	0.065	0.111	23.254	0.015	0.007	0.008	0.000	0.001	3.088	0.002	2.010	0.010	0.847	0.009	0.005	0.013	1.992	0.002	0.001
	38.479	0.030	21.475	0.149	12.308	0.202	0.021	23.562	0.000	0.008	0.000	0.068	0.000	3.083	0.002	2.029	0.010	0.817	0.008	0.014	0.002	2.023	0.002	0.000
	38.711	0.229	21.063	0.072	12.952	0.079	0.020	23.549	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	3.090	0.014	1.982	0.004	0.856	0.009	0.005	0.002	2.014	0.000	0.000
	38.714	0.041	22.183	0.113	11.642	0.084	0.000	23.501	0.000	0.024	0.002	0.088	0.006	3.089	0.002	2.086	0.007	0.769	0.008	0.005	0.000	2.009	0.003	0.000
	38.774	0.024	21.454	0.092	12.393	0.125	0.033	23.551	0.023	0.000	0.000	0.049	0.000	3.097	0.001	2.020	0.006	0.819	0.008	0.009	0.004	2.016	0.000	0.000
	38.631	0.048	20.774	0.093	13.311	0.154	0.012	23.582	0.002	0.015	0.007	0.134	0.000	3.090	0.003	1.959	0.006	0.882	0.009	0.010	0.001	2.021	0.003	0.001
	38.367	0.055	21.736	0.100	12.500	0.227	0.023	23.505	0.000	0.019	0.000	0.000	0.005	3.066	0.004	2.048	0.006	0.827	0.008	0.016	0.002	2.013	0.003	0.000
	38.504	0.032	21.356	0.091	13.070	0.196	0.016	23.523	0.023	0.007	0.000	0.000	0.005	3.072	0.002	2.009	0.006	0.863	0.009	0.014	0.002	2.011	0.002	0.000
	38.474	0.013	21.354	0.117	13.114	0.209	0.034	23.586	0.066	0.002	0.001	0.056	0.007	3.068	0.001	2.007	0.008	0.866	0.009	0.014	0.004	2.016	0.000	0.000

PMT-14	38.379	0.016	21.752	0.075	11.958	0.119	0.005	23.422	0.000	0.033	0.007	0.000	0.010	3.084	0.001	2.061	0.005	0.796	0.008	0.008	0.001	2.017	0.005	0.001
PMT-16	38.922	0.035	24.159	0.137	9.275	0.120	0.012	23.955	0.000	0.013	0.000	0.013	0.000	3.075	0.002	2.251	0.009	0.607	0.006	0.008	0.001	2.029	0.002	0.000
	39.046	0.057	24.913	0.106	8.595	0.190	0.033	24.098	0.000	0.025	0.000	0.025	0.000	3.066	0.004	2.306	0.007	0.559	0.006	0.013	0.004	2.028	0.005	0.000
	39.151	0.064	24.610	0.064	8.971	0.144	0.000	23.994	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	3.077	0.004	2.281	0.004	0.584	0.006	0.009	0.000	2.021	0.000	0.000
	39.336	0.043	24.785	0.160	8.632	0.108	0.022	24.142	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	3.082	0.002	2.290	0.010	0.560	0.006	0.007	0.002	2.027	0.000	0.000
	39.085	0.052	24.397	0.304	8.278	0.168	0.030	24.078	0.000	0.033	0.000	0.033	0.000	3.090	0.003	2.274	0.019	0.542	0.005	0.011	0.004	2.040	0.005	0.000
	39.258	0.078	24.613	0.287	8.279	0.152	0.019	24.074	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	3.090	0.005	2.284	0.018	0.540	0.005	0.010	0.002	2.030	0.000	0.000
	39.390	0.027	24.776	0.096	7.352	0.081	0.010	24.011	0.000	0.017	0.000	0.017	0.000	3.121	0.002	2.314	0.006	0.482	0.005	0.005	0.001	2.038	0.003	0.000
	39.429	0.001	24.546	0.096	8.843	0.184	0.038	23.720	0.000	0.163	0.019	0.163	0.019	3.095	0.000	2.272	0.006	0.575	0.006	0.012	0.005	1.995	0.024	0.002
	39.266	0.024	24.956	0.126	8.221	0.090	0.020	24.181	0.000	0.006	0.000	0.006	0.000	3.087	0.003	2.322	0.008	0.529	0.005	0.006	0.002	2.016	0.003	0.000
	38.874	0.028	23.174	0.093	10.601	0.324	0.011	23.448	0.000	0.000	0.008	0.009	0.002	3.084	0.002	2.167	0.006	0.696	0.007	0.022	0.001	1.994	0.000	0.001
	39.269	0.030	24.559	0.109	8.767	0.237	0.016	23.938	0.081	0.000	0.000	0.000	0.000	3.087	0.002	2.276	0.007	0.571	0.006	0.016	0.002	2.017	0.000	0.000
	38.922	0.050	22.932	0.156	10.805	0.249	0.000	23.679	0.004	0.006	0.000	0.080	0.000	3.084	0.003	2.142	0.010	0.709	0.007	0.017	0.000	2.010	0.002	0.000
	39.068	0.067	24.084	0.098	8.656	0.164	0.009	23.853	0.054	0.005	0.000	0.179	0.000	3.101	0.004	2.253	0.006	0.569	0.006	0.011	0.001	2.028	0.002	0.000
	39.069	0.076	24.069	0.095	8.965	0.189	0.027	23.686	0.064	0.014	0.002	0.010	0.000	3.096	0.005	2.248	0.006	0.588	0.006	0.013	0.004	2.011	0.002	0.000
	39.132	0.051	23.718	0.085	8.742	0.100	0.035	23.682	0.014	0.017	0.000	0.000	0.012	3.118	0.003	2.229	0.006	0.577	0.006	0.007	0.005	2.022	0.003	0.000
	38.847	0.039	22.324	0.252	10.537	0.285	0.003	23.317	0.000	0.011	0.006	0.018	0.003	3.114	0.002	2.109	0.016	0.699	0.007	0.020	0.000	2.003	0.002	0.001
	39.109	0.082	24.013	0.102	9.601	0.172	0.024	23.814	0.079	0.000	0.005	0.000	0.017	3.082	0.005	2.231	0.006	0.626	0.006	0.011	0.002	2.011	0.000	0.001
	39.189	0.043	23.229	0.151	9.458	0.111	1.166	22.233	0.058	0.015	0.010	0.087	0.003	3.116	0.002	2.178	0.009	0.623	0.006	0.007	0.139	1.894	0.003	0.001
	39.112	0.029	23.713	0.254	9.477	0.043	0.012	24.018	0.035	0.000	0.003	0.000	0.000	3.092	0.002	2.210	0.016	0.620	0.006	0.003	0.001	2.035	0.000	0.000
	39.023	0.024	23.752	0.068	9.931	0.244	0.006	23.746	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	3.082	0.001	2.212	0.004	0.649	0.007	0.016	0.001	2.010	0.000	0.000
	39.082	0.032	23.307	0.083	10.411	0.295	0.004	23.670	0.000	0.009	0.000	0.028	0.000	3.089	0.002	2.172	0.005	0.681	0.007	0.020	0.000	2.004	0.002	0.000
	39.311	0.032	25.262	0.110	8.123	0.132	0.059	24.031	0.000	0.018	0.005	0.000	0.012	3.079	0.002	2.333	0.007	0.527	0.005	0.009	0.007	2.017	0.003	0.001

	39.134	0.107	24.881	0.173	8.454	0.166	0.000	24.038	0.000	0.000	0.005	0.100	0.014	3.074	0.006	2.305	0.011	0.550	0.006	0.011	0.000	2.024	0.000	0.001
	39.460	0.054	25.295	0.119	7.671	0.204	0.034	24.240	0.000	0.018	0.000	0.000	0.020	3.089	0.003	2.335	0.007	0.497	0.005	0.013	0.004	2.033	0.003	0.000

12.2.5 Micas

Tabela 12.9 - Análise composicional e forma estrutural das biotites e moscovites das amostras estudadas.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K
	Muscovite																		
PMT-2	45.33	0.59	34.26	1.46	0.00	0.35	0.04	0.56	10.67	6.18	1.82	3.69	0.06	0.17	0.00	0.07	0.01	0.15	1.86
	45.07	0.18	35.69	1.46	0.00	0.45	0.04	0.50	10.23	6.10	1.90	3.80	0.02	0.17	0.00	0.09	0.01	0.13	1.77
	46.73	0.65	35.97	1.81	0.01	0.33	0.04	0.32	9.30	6.18	1.82	3.79	0.06	0.20	0.00	0.07	0.01	0.08	1.57
	45.51	0.10	35.96	0.48	0.04	0.11	0.09	0.38	10.93	6.15	1.85	3.88	0.01	0.05	0.00	0.02	0.01	0.10	1.88
	45.95	0.45	34.52	1.82	0.00	0.39	0.00	0.65	10.62	6.20	1.80	3.69	0.05	0.21	0.00	0.08	0.00	0.17	1.83
	46.04	0.59	34.11	1.55	0.00	0.39	0.05	0.56	10.44	6.24	1.76	3.68	0.06	0.18	0.00	0.08	0.01	0.15	1.80
PMT-8B	46.74	0.16	33.98	1.01	0.06	0.28	0.00	0.97	8.97	6.36	1.64	3.80	0.02	0.11	0.01	0.06	0.00	0.25	1.56
	46.56	0.17	33.58	1.01	0.03	0.26	0.00	1.00	9.59	6.36	1.64	3.76	0.02	0.12	0.00	0.05	0.00	0.27	1.67
	46.86	0.12	33.52	1.13	0.05	0.33	0.01	0.88	9.71	6.38	1.62	3.75	0.01	0.13	0.01	0.07	0.00	0.23	1.69
	46.62	0.11	33.37	1.10	0.01	0.28	0.00	0.94	10.07	6.37	1.63	3.74	0.01	0.13	0.00	0.06	0.00	0.25	1.75
	46.37	0.21	33.77	1.12	0.01	0.26	0.01	1.12	9.45	6.33	1.67	3.76	0.02	0.13	0.00	0.05	0.00	0.30	1.65
	46.33	0.15	33.29	1.04	0.00	0.32	0.03	1.05	9.86	6.35	1.65	3.73	0.02	0.12	0.00	0.07	0.00	0.28	1.73
	46.87	0.15	33.11	1.09	0.08	0.26	0.04	1.14	9.77	6.39	1.61	3.72	0.02	0.12	0.01	0.05	0.01	0.30	1.70
	46.64	0.47	32.30	2.49	0.12	0.30	0.02	1.12	9.66	6.37	1.63	3.58	0.05	0.28	0.01	0.06	0.00	0.30	1.68
	46.72	0.12	33.44	1.07	0.00	0.27	0.01	0.99	9.80	6.37	1.63	3.75	0.01	0.12	0.00	0.05	0.00	0.26	1.71

	46.48	0.23	33.58	1.03	0.00	0.30	0.02	1.16	9.77	6.34	1.66	3.73	0.02	0.12	0.00	0.06	0.00	0.31	1.70
	50.39	0.23	24.67	5.05	0.04	2.13	0.06	0.32	9.40	6.99	1.01	3.03	0.02	0.59	0.00	0.44	0.01	0.09	1.66
	50.53	0.21	25.50	3.59	0.08	2.15	0.01	0.30	9.70	6.98	1.02	3.13	0.02	0.41	0.01	0.44	0.00	0.08	1.71
	49.85	0.18	26.27	3.58	0.05	2.03	0.03	0.37	9.96	6.89	1.11	3.17	0.02	0.41	0.01	0.42	0.00	0.10	1.76
	50.20	0.23	26.11	4.19	0.10	1.81	0.05	0.33	9.98	6.91	1.09	3.14	0.02	0.48	0.01	0.37	0.01	0.09	1.75
	Biotite																		
PMT-10	34.18	3.22	19.97	23.85	0.11	5.05	0.03	0.12	9.62	5.28	2.72	0.92	0.37	3.08	0.01	1.16	0.01	0.03	1.90
	34.13	3.17	20.13	24.00	0.04	5.03	0.00	0.15	9.57	5.27	2.73	0.93	0.37	3.10	0.00	1.16	0.00	0.04	1.88
	35.48	3.02	19.30	23.44	0.08	5.36	0.09	0.08	8.67	5.46	2.54	0.96	0.35	3.02	0.01	1.23	0.01	0.02	1.70
	36.44	2.87	20.77	21.67	0.08	4.59	0.04	0.11	8.29	5.55	2.45	1.28	0.33	2.76	0.01	1.04	0.01	0.03	1.61
	34.57	3.16	19.34	24.94	0.08	5.44	0.02	0.10	9.54	5.31	2.69	0.80	0.36	3.20	0.01	1.24	0.00	0.03	1.87
	34.52	3.28	19.33	25.26	0.10	5.58	0.00	0.12	9.38	5.28	2.72	0.77	0.38	3.23	0.01	1.27	0.00	0.04	1.83
	34.76	2.82	19.54	24.83	0.09	5.59	0.03	0.14	9.33	5.32	2.68	0.85	0.33	3.18	0.01	1.28	0.00	0.04	1.82
	35.14	2.83	19.56	24.80	0.10	5.53	0.00	0.12	9.35	5.36	2.64	0.87	0.32	3.16	0.01	1.26	0.00	0.03	1.82
	35.14	2.43	20.22	24.68	0.11	5.54	0.01	0.09	9.63	5.34	2.66	0.95	0.28	3.13	0.01	1.25	0.00	0.03	1.87
	34.87	2.44	20.16	24.83	0.14	5.52	0.00	0.10	9.61	5.31	2.69	0.93	0.28	3.16	0.02	1.25	0.00	0.03	1.87
	33.54	2.83	19.16	27.04	0.04	5.10	0.03	0.11	8.96	5.22	2.78	0.74	0.33	3.52	0.01	1.18	0.00	0.03	1.78
	33.54	2.87	19.22	27.08	0.11	5.03	0.04	0.11	8.96	5.22	2.78	0.74	0.34	3.52	0.01	1.17	0.01	0.03	1.78
	35.01	2.73	20.07	24.40	0.12	5.53	0.05	0.08	9.78	5.32	2.68	0.92	0.31	3.10	0.02	1.25	0.01	0.02	1.90
	34.92	2.77	20.04	24.39	0.16	5.40	0.05	0.08	9.80	5.32	2.68	0.92	0.32	3.11	0.02	1.23	0.01	0.02	1.90
	34.50	2.52	19.78	25.35	0.12	5.63	0.03	0.12	9.18	5.29	2.71	0.87	0.29	3.25	0.02	1.29	0.00	0.04	1.80
	35.02	2.60	19.62	25.44	0.16	5.65	0.04	0.12	9.17	5.33	2.67	0.85	0.30	3.24	0.02	1.28	0.01	0.03	1.78
	35.07	2.96	19.78	24.20	0.12	5.35	0.04	0.09	9.41	5.36	2.64	0.92	0.34	3.09	0.02	1.22	0.01	0.03	1.83
	34.95	3.03	19.80	24.13	0.13	5.26	0.01	0.08	9.46	5.35	2.65	0.92	0.35	3.09	0.02	1.20	0.00	0.02	1.85

12.2.6 Óxidos

Tabela 12.10 - Análise composicional e forma estrutural dos óxidos das amostras estudadas.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Si	Ti	Al	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K
PMT-10	0.030	97.000	0.020	0.020	0.000	0.110	0.000	0.010	0.050	0.020	0.080	0.001	1.496	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002
PMT-12A	0.100	0.120	0.070	0.030	101.600	0.920	0.050	0.020	0.030	0.000	0.000	0.003	0.002	0.002	0.001	1.976	0.020	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	2.440	0.250	2.230	0.000	91.490	0.830	0.070	0.740	0.030	0.000	0.810	0.064	0.005	0.069	0.000	1.798	0.018	0.002	0.029	0.001	0.000	0.027
	4.030	0.000	1.280	0.020	86.980	4.080	0.000	0.120	0.180	0.030	0.050	0.108	0.000	0.040	0.000	1.747	0.091	0.000	0.005	0.005	0.002	0.002
	0.120	0.110	0.110	0.020	101.550	0.920	0.050	0.000	0.010	0.020	0.000	0.003	0.002	0.003	0.000	1.975	0.020	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000
	0.330	0.130	0.100	0.000	98.720	0.900	0.020	0.030	0.010	0.020	0.000	0.009	0.003	0.003	0.000	1.967	0.020	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
	0.330	0.120	0.130	0.000	101.150	0.920	0.090	0.030	0.020	0.000	0.010	0.009	0.002	0.004	0.000	1.966	0.020	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000
	0.140	0.100	0.100	0.000	101.750	0.920	0.030	0.000	0.000	0.010	0.020	0.004	0.002	0.003	0.000	1.975	0.020	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001
	0.140	0.100	0.090	0.020	101.900	0.930	0.080	0.000	0.020	0.030	0.000	0.004	0.002	0.003	0.000	1.974	0.020	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000
	0.430	0.080	0.130	0.020	101.210	0.920	0.070	0.090	0.000	0.000	0.020	0.011	0.002	0.004	0.000	1.962	0.020	0.002	0.003	0.000	0.000	0.001
	0.350	0.080	0.090	0.020	101.460	0.920	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.002	0.003	0.000	1.969	0.020	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.060	0.100	0.140	0.000	101.880	0.930	0.000	0.010	0.010	0.000	0.000	0.002	0.002	0.004	0.000	1.977	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.060	0.100	0.140	0.000	101.690	0.920	0.070	0.000	0.010	0.000	0.000	0.002	0.002	0.004	0.000	1.977	0.020	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.250	0.150	0.120	0.000	101.500	0.920	0.060	0.000	0.020	0.000	0.000	0.006	0.003	0.004	0.000	1.969	0.020	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
	0.320	0.130	0.140	0.020	98.930	0.900	0.020	0.040	0.050	0.020	0.000	0.008	0.003	0.004	0.000	1.965	0.020	0.000	0.002	0.001	0.001	0.000
	0.050	0.140	0.130	0.000	101.940	0.930	0.030	0.020	0.020	0.000	0.020	0.001	0.003	0.004	0.000	1.976	0.020	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001
	0.440	0.140	0.130	0.020	101.100	0.920	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.011	0.003	0.004	0.000	1.963	0.020	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000

PMT-12B	0.110	53.760	0.170	0.000	0.000	39.240	4.410	0.010	0.040	0.000	0.000	0.003	1.028	0.005	0.000	0.000	0.834	0.095	0.000	0.001	0.000	0.000
	0.440	52.340	0.070	0.010	0.000	38.860	5.550	0.020	0.180	0.030	0.000	0.011	1.008	0.002	0.000	0.000	0.832	0.120	0.001	0.005	0.001	0.000
	0.080	0.040	0.050	0.010	100.550	0.910	0.000	0.010	0.120	0.000	0.010	0.002	0.001	0.002	0.000	1.978	0.020	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
	0.020	52.760	0.000	0.000	0.000	39.730	5.780	0.030	0.080	0.020	0.000	0.001	1.012	0.000	0.000	0.000	0.847	0.125	0.001	0.002	0.001	0.000
	0.000	31.270	0.020	0.120	45.020	27.780	0.200	0.020	0.090	0.000	0.000	0.000	0.580	0.001	0.002	0.836	0.573	0.004	0.001	0.002	0.000	0.000
	0.560	51.470	0.070	0.000	0.330	39.340	6.100	0.440	0.400	0.030	0.000	0.014	0.982	0.002	0.000	0.006	0.835	0.131	0.017	0.011	0.001	0.000
	0.380	51.810	0.100	0.020	0.000	39.510	6.460	0.050	0.270	0.000	0.030	0.010	0.992	0.003	0.000	0.000	0.842	0.139	0.002	0.007	0.000	0.001
	0.020	98.370	0.010	0.010	0.000	0.530	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.000	1.495	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
	0.060	59.820	0.050	0.020	0.000	32.470	3.650	0.010	0.110	0.010	0.010	0.001	1.119	0.001	0.000	0.000	0.675	0.077	0.000	0.003	0.000	0.000
	0.350	0.190	0.160	0.010	101.010	0.920	0.000	0.120	0.030	0.000	0.000	0.009	0.004	0.005	0.000	1.961	0.020	0.000	0.005	0.001	0.000	0.000
	0.110	0.140	0.100	0.010	101.140	0.920	0.010	0.000	0.080	0.020	0.000	0.003	0.003	0.003	0.000	1.974	0.020	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000
	0.030	0.160	0.140	0.000	100.600	0.910	0.000	0.010	0.030	0.000	0.000	0.001	0.003	0.004	0.000	1.976	0.020	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
	0.200	65.020	0.020	0.040	0.000	23.280	1.380	0.020	0.050	0.000	0.000	0.005	1.233	0.001	0.001	0.000	0.491	0.029	0.001	0.001	0.000	0.000
	3.310	45.780	0.740	0.000	0.000	35.000	5.700	0.160	0.070	0.000	0.000	0.089	0.929	0.024	0.000	0.000	0.790	0.130	0.006	0.002	0.000	0.000
	0.400	53.500	0.030	0.010	0.000	37.460	6.360	0.040	0.180	0.020	0.010	0.010	1.020	0.001	0.000	0.000	0.794	0.137	0.002	0.005	0.001	0.000
PMT-15	0.070	55.110	0.000	0.040	0.000	37.860	2.840	0.050	0.170	0.010	0.020	0.002	1.059	0.000	0.001	0.000	0.809	0.061	0.002	0.005	0.000	0.001
	1.050	51.440	0.220	0.000	0.000	40.960	4.000	0.450	0.120	0.030	0.240	0.027	0.980	0.007	0.000	0.000	0.867	0.086	0.017	0.003	0.001	0.008
	0.040	53.460	0.070	0.000	0.000	40.550	3.980	0.200	0.250	0.010	0.020	0.001	1.018	0.002	0.000	0.000	0.859	0.085	0.008	0.007	0.000	0.001
	1.190	51.700	0.130	0.060	0.390	39.500	4.420	1.310	0.430	0.220	0.010	0.030	0.970	0.004	0.001	0.007	0.824	0.093	0.049	0.011	0.011	0.000
	1.010	52.850	0.620	0.010	0.000	38.570	2.760	0.840	0.500	0.020	0.120	0.025	1.001	0.018	0.000	0.000	0.813	0.059	0.032	0.013	0.001	0.004
	1.090	52.600	0.670	0.070	0.000	38.330	2.800	0.830	0.510	0.020	0.140	0.028	0.998	0.020	0.001	0.000	0.809	0.060	0.031	0.014	0.001	0.005
	0.040	53.470	0.020	0.050	0.000	40.360	3.420	0.000	0.130	0.010	0.000	0.001	1.028	0.001	0.001	0.000	0.863	0.074	0.000	0.004	0.000	0.000
	0.040	52.270	0.010	0.040	0.000	41.010	4.240	0.010	0.370	0.030	0.030	0.001	1.007	0.000	0.001	0.000	0.879	0.092	0.000	0.010	0.001	0.001
	0.540	52.940	0.700	0.020	0.000	40.180	3.910	0.310	0.080	0.000	0.150	0.014	0.999	0.021	0.000	0.000	0.843	0.083	0.012	0.002	0.000	0.005

	0.020	53.530	0.290	0.020	0.000	39.660	3.710	0.050	0.280	0.000	0.020	0.001	1.025	0.009	0.000	0.000	0.845	0.080	0.002	0.008	0.000	0.001
--	-------	--------	-------	-------	-------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------